

УДК 556.3.012:556.332.6(574.3)

**О ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНОК ПИТАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В
ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЗАХСТАНЕ БАЛАНСОВО-ГИДРОМЕТРИЧЕСКИМ
МЕТОДОМ**

Канд. геол.-мин. наук М.М.Бураков

Исследованы систематические погрешности оценок питания подземных вод в Центральном Казахстане балансово-гидрометрическим методом. Сделан вывод о неопределенности подобных оценок и, следовательно, о нецелесообразности использования этого метода для расчетов естественных ресурсов подземных вод.

Территория Центрального Казахстана, приуроченного к области засушливого климата, бедна водными ресурсами, пригодными для удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд. Особая роль принадлежит здесь подземным водам, которые только и могут быть надежным источником хозяйственно-питьевого, а теперь и технического, и сельскохозяйственного водоснабжения, так как в нынешних условиях исключается возможность привлечения сюда вод на эти нужды из других регионов. На западе региона наиболее крупные месторождения пресных и слабоминерализованных подземных вод установлены в карбонатных структурах, на востоке - в аллювиальных четвертичных отложениях речных долин. В силу отсутствия других источников водоснабжения возникает настоятельная потребность обеспечения водоотбора из месторождений неограничено долго или, по крайней мере, весьма продолжительное время (не менее 50-100 лет). В свою очередь это обуславливает необходимость ограничения его величиной питания подземных вод. Для таких месторождений исключительно актуальна задача достоверной оценки последнего, т.е. естественных ресурсов.

В основу сложившихся к настоящему времени представлений о процессе естественного восполнения подземных вод в условиях Центрального Казахстана положен установленный опытным путем факт: максимальный подъем уровня грунтовых вод практически повсеместно здесь отмечается весной в период снеготаяния. Это и дало основание считать источником восполнения талые снеговые воды и весенние атмосферные осадки, значительная часть которых достигает поверхности грунтовых вод и обуславливает ее подъем.

В соответствии с изложенной концептуальной моделью сложились два подхода к оценке естественного питания грунтовых вод - балансово-гидрометрический и режимно-метеорологический. Балансово-гидрометрический подход предполагает изучение баланса воды в пределах выделенного участка с отнесением невязки баланса на счет инфильтрации. Режимно-метеорологический подход состоит в исследовании естественного режима уровня грунтовых вод с вычислением величины питания по значению весеннего подъема уровня. Существование принципиально различных методов определения характеристик одного и того же процесса отражает главнейшее противоречие рассматриваемой концептуальной модели - это полное пренебрежение эффектами массо-, тепло- и влагопереноса в зоне аэрации. Эти методы соответствуют отдельным особенностям (вход и выход) процесса: в одном случае устанавливается объем воды, поступившей с поверхности земли в грунт, в другом - слой влаги, достигшей уровня грунтовых вод. И если режимно-метеорологический метод дает точную (в пределах доверительных интервалов, устанавливаемых случайными погрешностями измеряемых параметров среды и характеристик процесса) оценку питания вне зависимости от исходной модели процесса, то в отношении балансово-гидрометрического это сказать нельзя. Более того, накопленные данные свидетельствуют о принципиальной невозможности использования его для оценки питания грунтовых вод.

А между тем, естественные ресурсы подземных вод, как составляющая эксплуатационных запасов

большинства водоносных карбонатных структур западной части Центрального Казахстана, являющихся крупнейшими месторождениями пресных подземных вод, оценивались именно балансово-гидрометрическим методом. Результаты балансово-гидрометрических исследований явились основой для расчетов естественных ресурсов и эксплуатационных запасов и ресурсов подземных вод всего Центрального Казахстана, различных регионов в его составе и смежных территорий. Необходим поэтому анализ самого балансово-гидрометрического метода, достоверности установленных с его помощью величин питания подземных вод.

Примеры специального изучения точности и достоверности балансовых расчетов в гидрогеологии чрезвычайно редки, общие подходы к нему не сформированы. Можно лишь назвать работу [3], в которой дан обзор подобного рода исследований, относящихся, главным образом, к случайным инструментальным погрешностям измерений и расчетов. Не останавливаясь подробно на этой работе, отметим только, что ею далеко не исчерпывается затронутая проблема.

Прежде, чем перейти к анализу балансово-гидрометрического метода, следует определить позиции, с которых он будет выполняться. Под достоверностью или точностью здесь понимается характеристика качества опыта (измерения и расчета), устанавливающая, насколько измеряемый (подсчитываемый) параметр отвечает действительному. Точность будем оценивать величинами систематических и случайных погрешностей. По происхождению различаются следующие виды погрешностей, относящиеся как к систематическим, так и к случайным [10]: личные, зависящие от физических особенностей наблюдателя; инструментальные, определяемые качеством измерительных приборов, их неисправностью; внешние, обусловленные влиянием на приборы внешней среды; методические; погрешности модели и классификации.

Остановимся на систематических погрешностях. Положим, что в исследуемых нами приложениях метода экспериментальная часть выполнена корректно, т.е. систематические инструментальные и внешние

погрешности измерений компенсированы внесенными поправками, а все анализируемые параметры принадлежат одному и тому же процессу, объекту, так что погрешность классификации исключается. Сразу же обратим внимание на отмеченное выше пренебрежение в концептуальной модели питания грунтовых вод процессами переноса в зоне аэрации. Это пренебрежение обуславливает грубейшую погрешность модели в оценках естественных ресурсов балансово-гидрометрическим методом. Очевидно, что выявить и исключить ее, оставаясь в рамках этого метода, отражающего лишь одну особенность процесса питания, принципиально невозможно.

Не менее существенны систематические методические и тесно связанные с ними личные погрешности измерений и расчетов естественных ресурсов подземных вод. Как уже упоминалось, к настоящему времени накоплен некоторый опыт эксплуатации водозаборов на ряде водоносных структур Центрального Казахстана. Чрезвычайно интересным в этом плане представляется анализ питания трещинно-карстовых вод Жанайской структуры. Структура типична в гидрогеологическом отношении для Жезказганской области и представляет собой вытянутую в меридианальном направлении брахиантиклиналь, сложенную в основном трещиноватыми и закарстованными известняками турне и раннего визе. Карбонатные породы на значительной площади прикрыты рыхлыми образованиями коры выветривания и четвертичными элювиально-делювиальными отложениями. С 1956 г. здесь действовал водозабор с проектной производительностью 150 л/с (до 1967 г.), в последующем 390 л/с. В настоящее время, в первую очередь вследствие низкой обеспеченности эксплуатационных запасов естественными ресурсами, водозабор законсервирован; уровень подземных вод здесь сработан до глубины 70-80 м, минерализация вод возросла до 1,8 г/л.

Естественные ресурсы подземных вод Жанайской брахиантиклинали оценены С.К.Калугиным [7] в количестве 255 л/с. Эта величина и учтена в эксплуа-

тационных запасах. Не подтверждение ее обусловило необходимость пересмотра запасов и их составляю-

щих. На основании анализа эксплуатации водозабора Б.В.Боревский и В.Д.Гродзенский [1] пришли к выводу, что средняя величина восполнения подземных вод равна всего 80 л/с. Связь питания с гидрометеорологическими факторами ими не исследовалась.

Такую связь на основе изучения водного баланса структуры в условиях эксплуатации водозабора выявил В.Н.Островский [11]. Он показал, что питание подземных вод структуры в разные годы изменялось от 0 до 63 мм водного столба, составляя в среднем 25 мм. Отсюда при площади карбонатных отложений 80 км² средние естественные ресурсы подземных вод равны 63 л/с. Последнюю величину В.Н.Островский рассматривает как несколько завышенную, так как расчетный промежуток времени включал два увлажненных периода и только один засушливый. Из опыта эксплуатации следует также, что средний коэффициент инфильтрации зимне-весенних атмосферных осадков на известняках Жанайской структуры $\alpha = 0,38$, т.е. почти на 40 % меньше, чем был определен С.К.Калугиным.

Таким образом, естественные ресурсы подземных вод, оцененные балансово-гидрометрическим методом оказались заметно преувеличенными. Систематические методические погрешности расчетов подобного рода выявились лишь в результате анализа опыта эксплуатации водозабора. Значительная часть их обусловлена органически присущими балансово-гидрометрическому методу недостатками, главные из которых - существенная, априорно заложенная неопределенность коэффициента инфильтрации, как меры величины питания грунтовых вод, и большие погрешности его определения.

Коэффициент инфильтрации α для балансового участка рассчитывается обычно как разность между количеством так называемых эффективных осадков (X , мм), поверхностным стоком (W , мм) в замыкающем створе и испарением (E , мм) за период снеготаяния, отнесенная к величине эффективных осадков:

$$\alpha = \frac{X - W - E}{X} ; \quad X - W - E = I ,$$

где I -инфильтрация атмосферных осадков. Отсюда видно, что неопределенность в значении α связана с отсутствием прямой оценки поступления влаги на поверхность грунтовых вод, а, следовательно, исключением из рассмотрения процессов влагообмена в зоне аэрации. Соответственно и в приведенном выше примере В.Н.Островский более чем 40 %-ную разницу в значениях коэффициента инфильтрации для Жанайской водоносной структуры, рассчитанных им и С.К.Калугиным, объяснил поглощением влаги в зоне аэрации [11]. Однако такую гипотезу нельзя признать корректной.

Причина некорректности состоит в том, что в работах В.Н.Островского и С.К.Калугина использованы совершенно различные методические подходы к оценке естественных ресурсов подземных вод на основе балансовых расчетов. В.Н.Островский коэффициентом инфильтрации обозначил отношение количества влаги, просочившейся в пласт в период снеготаяния, к эффективным атмосферным осадкам (запасу воды в снежном покрове), а просочившуюся влагу (инфильтрацию) отождествил с естественными ресурсами подземных вод. С.К.Калугин [7] в качестве коэффициента инфильтрации принял, по-видимому, величину, определенную в принципе так же, однако при расчетах естественных ресурсов распространил ее на суммарные годовые осадки. Поэтому в действительности разница в коэффициентах α , рассчитанных С.К.Калугиным и В.Н.Островским, не 40 %-ная, а почти 300 %-ная (средняя многолетняя инфильтрация в названных работах составляет соответственно 100 и 25 мм, а годовые и эффективные осадки - 175 и 65 мм). Очевидно, что какие-либо выводы о влагопереносе в зоне аэрации из такого сравнения делать нельзя. Отмеченная разница характеризует методическую ошибку в оценках коэффициента инфильтрации, допущенную С.К.Калугиным. С другой стороны, сама идея сравнения данных из работ В.Н.Островского и С.К.Калугина, принимая одни из них за эталон, не выдерживает критики. Как будет показано ниже, результаты балансовых расчетов В.Н.Островского не могут быть использованы в качестве такого эталона, так как они также не лише-

ны систематических ошибок, делающих их неопределенными.

Методические погрешности в значительной степени обесценили и выводы, приведенные в работе [9], в которой предпринята попытка повысить достоверность α путем привлечения данных о режиме притока воды в разведочные горные выработки. В [9], судя по всему, атмосферные осадки, обусловившие питание подземных вод, взяты как их сумма за период изменения притока воды. А между тем особенности гидрогеологических условий балансового участка делают подобный подход к установлению таких осадков не вполне корректным. Это связано с тем, что область питания (достаточно локальная в плане) отстоит от горных выработок на расстоянии около 600 м. Используя приближенное решение задачи о притоке в галерею или скважину Г.И. Баренблатта, в котором длина области возмущения $l^2(t) = 12 \cdot a \cdot t$ (наибольшая из известных приближений), нетрудно показать, что перераспределение градиентов напора вблизи горных выработок, вызывающее изменение притока воды в последние, начнется через промежуток времени от 6 до 30 суток от начала просачивания атмосферной влаги в грунт (при значениях $a = (1-5) \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{сут}$). Здесь a - уровень проводности водоносного пласта, t - время.

Большая доля субъективизма, принципиально присущего балансово-гидрометрическому методу, про

является в виде систематических методических погрешностей и при интерпретации результатов балансовых расчетов. Это можно проиллюстрировать на примере все той же Жанайской водоносной структуры. Так, в работе [2] на основе весьма ограниченной выборки данных делается вывод о существовании линейной связи $X = f(\alpha)$ или $\alpha = f(X)$.

Графическое представление опытных данных в таком виде, т.е. не в системе координат относительно исходных данных (например, I и X , где I должна определяться независимо), а относительно преобразованных величин (α или W/α), вносит ложную корреляцию [12], так как устанавливается связь эффективных осадков с самими собой - $X = f(I/X)$. Однако даже и в этом случае выявить гра-

фически однозначно какую-либо связь между ними не удастся. Кроме того, крайняя ограниченность выборки экспериментальных данных (по 5 значений α и X) не позволяет проанализировать возможность существования такой связи с помощью аппарата регрессионного и корреляционного анализа.

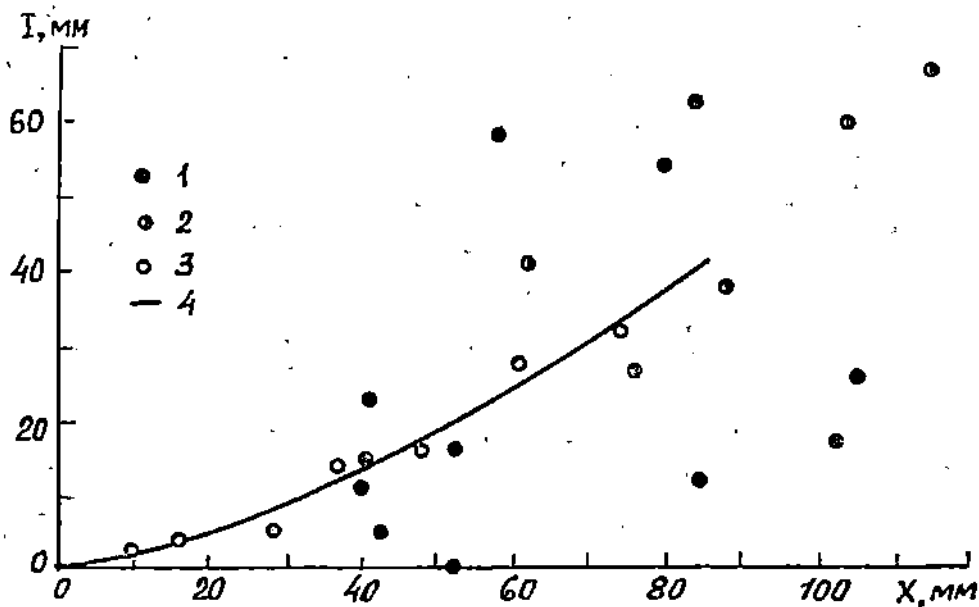
Не обнаруживается корреляционная связь и между исходными переменными - эффективными атмосферными осадками и инфильтрацией. Проверка связи $I = f(X)$ для Жанайской структуры, выполненная В.Н.Островским [11] по данным за период с 1956-1960 гг. (среднее значение) по 1971 г., как видно из приведенного рисунка, подтверждает ее отсутствие. Выборочный коэффициент корреляции равен всего 0,33, т.е. ниже допустимого значения, позволяющего утверждать о наличии линейной корреляционной связи [5].

Выше намеренно подчеркивалось независимость определения инфильтрации для Жанайской структуры. В случае же оценки связи $I = f(X)$ при вычислении инфильтрации из балансового уравнения, снова имеем дело с наличием ложной корреляции, так как инфильтрация во многом обуславливается эффективными осадками. Не удивительно поэтому хорошая корреляционная связь $I = f(X)$ для балансового участка Букпа (см. рисунок). В полной мере это относится и к попытке установления корреляционной связи норм питания грунтовых вод с гидрометеорологическими факторами в [8].

Выбор расчетных величин в балансовых расчетах также является неопределенным. Следовательно, высока вероятность систематических личных погрешностей, вносимых в методику оценки питания подземных вод. Такие погрешности можно квалифицировать и как методические. В первую очередь это относится к обоснованию количества эффективных осадков, в частности к той их части, которая выпадает за период снеготаяния и по отношению к которой оценивается инфильтрация.

В общем случае применения балансово-гидрометрического метода указанная проблема возникает постоянно, причем в рамках названного метода не существует каких-либо объективных критериев,

обеспечивающих ее разрешение. Показателен и характерен в этом отношении пример расчетов коэффициента инфильтрации атмосферных осадков по балансовому участку на склоне сопки Букпа в Северном Казахстане (местоположение участка принципиального значения не имеет), кочующий из публикации в публикацию [4, 6 и др.]



Зависимость годового питания грунтовых вод (I) от эффективных атмосферных осадков (X):

1 - данные по Жанайской структуре (по В.Н.Островскому [11]); 2 - то же по Б.В.Боревскому и др. [2]; 3 - по опытным данным на балансовом участке Букпа; 4 - кривая, аппроксимирующая опытные данные по участку Букпа

При обработке измерений характеристик поверхностного и подземного стока на участке (см. таблицу) все авторы, приводившие их в своих работах, вслед за С.К.Калугиным в качестве эффективных осадков принимали запасы воды в снежном покрове перед началом снеготаяния. Значения коэффициента инфильтрации оказались равными: 0,38

(1952 г.), 0,45 (1953 г.), 0,43 (1954 г.), 0,20 (1955 г.), 0,30 (1956 г.), 0,25 (1957 г.) и 0,33 (1958 г.). Средний за период наблюдения коэффициент $\alpha = 0,37$. Если же в величинах эффективных осадков учесть и атмосферные осадки, выпавшие за период снеготаяния, то инфильтрация I (мм) и коэффициент инфильтрации α получатся соответственно следующими: 36,3 и 0,61 (1952 г.), 61,7 и 0,65 (1953 г.), 62,8 и 0,60 (1954 г.), 19,2 и 0,46 (1955 г.), 25,2 и 0,70 (1956 г.), 11,9 и 0,62 (1957 г.), 39,9 и 0,55 (1958 г.).

Составляющие водного баланса на участке Букпа, мм

Год	Составляющая баланса, мм				
	Запас воды в снеге S	Поверхностный сток h	Испарение E	Инфильтрация I	Осадки в период снеготаяния X_1
1952	37,0	12,9	10,0	14,0	22,3
1953	61,2	9,2	24,5	27,5	34,2
1954	74,5	17,7	25,3	32,0	30,8
1955	28,0	16,8	5,6	5,6	13,6
1956	16,0	8,0	3,2	4,8	20,4
1957	9,7	3,9	3,4	2,4	9,5
1958	48,0	13,0	19,2	15,8	24,1
Сред.	39,2	11,6	13,0	14,6	22,1

В работах С.К.Калугина [7], А.К.Казбекова [6] приводятся величины инфильтрации, для расчетов которых принимались эффективные осадки, учитывающие как только запас воды в снежном покрове перед началом снеготаяния ($X = S$), так и атмосферные осадки, выпавшие за период снеготаяния ($X = S + X_1$). Какого-либо обоснования выбора тех или иных значений I и α в названных публикациях не дается. Точно так же и в примере расчетов питания подземных вод Жанайской водоносной структуры величина расчетного коэффициента инфильтрации полностью зависит от произвола исследователя. Так, в [11] инфильтрация определялась по интен-

сивности осушения водовмещающих пород и водоотбору, т.е. прямым методом и, на первый взгляд, с высокой достоверностью. Однако при оценке α без серьезного обоснования использовались атмосферные осадки только за зимний период (ноябрь-март). Неясно, как они соотносятся с запасами воды в снеге перед началом снеготаяния, осадками за период снеготаяния и т.д.

Выявление и устранение систематических погрешностей является неотъемлемой частью инженерных расчетов. Основной способ исключения таких погрешностей - внесение поправки с соответствующим знаком в результаты измерений и расчетов. Привлечение же информации о закономерностях колебания уровня подземных вод в ненарушенных водоотбором условиях и интенсивности осушения водовмещающих отложений при водоотборе для уточнения естественных ресурсов делает расчеты коэффициента инфильтрации бессмысленными. Это производится обычно для исследования самого балансово-гидрометрического метода и для повышения на его основе достоверности оценок питания подземных вод, причем уточнение балансовых величин возможно только для изучаемого участка водоносного пласта и не может распространяться на другие территории. А если инфильтрация (естественные ресурсы) к тому же определена с более высокой достоверностью, чем с помощью балансово-гидрометрического метода (т.е. цель исследований достигнута), рассчитывать параметры балансовой модели (решать обратную задачу) просто нет необходимости, поскольку эта модель не дает никакой новой информации.

Таким образом, балансово-гидрометрический метод в основе своей не обеспечивает строгого и единообразного подхода к оценкам естественных ресурсов подземных вод. Это связано с тем, что водный баланс выделенного участка водоносного пласта рассматривается вне связи с действительно протекающими гидрогеологическими процессами (и в пласте, и в зоне аэрации). Неопределенной и ничем не обоснованной остается величина эффективных атмосферных осадков, которую необходимо выбрать при расчетах инфильтрации этим методом. Существующая

тенденция к постоянному пересмотру естественных запасов и ресурсов подземных вод, как правило с целью их увеличения, обуславливает произвольное завышение таких осадков. Поэтому при оценках естественных ресурсов подземных вод следует избегать применения балансово-гидрометрического метода. Во всяком случае нельзя использовать балансовое уравнение для установления какой-либо составляющей баланса. Все составляющие должны определяться независимыми методами, а баланс может и должен составляться только для контроля с целью их увязки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровский Б.В., Гродзенский В.Д. Опыт определения источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод в закрытых структурах трещинно-карстового типа по данным эксплуатации водозабора (на примере Жанайской структуры в Центральном Казахстане) // Труды ВСЕГИНГЕО. - 1970. - Вып. 32. - С. 75-86.
2. Боровский 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. Гребенюков Г.П., Иванов В.Н. Об оценке качества воднобалансовых исследований // Известия АН КазССР. - Серия геологическая. - 1976. - N 1. - С. 81-84.
4. Жапарханов С.Ж., Кунанбаев С.Б., Масалин И.М. Месторождение Васильковское // Гидрогеология горнорудных объектов Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1980. - С. 5-26.
5. Зальцберг Э.А. Статистические методы прогноза естественного режима уровня грунтовых вод. - Л.: Недра, 1976. - 102 с.
6. Казбеков А.К. Формирование подземных вод в пределах Кокчетавской низкогорной и мелкосопочной возвышенности // Известия АН КазССР. - Серия геологическая. - 1986. - N 1. - С. 45-52.

7. Калугин С.К. Опыт разведки и определения запасов подземных вод Джекказган-Улутауского района // Водные ресурсы Казахстана. - Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1957. - С. 131-143.
8. Лебедев А.В. Формирование баланса грунтовых вод на территории СССР. - М.: Недра, 1980. - 288 с.
9. Масалин И. К определению коэффициента инфильтрации по величине питания подземных вод // Вестник АН КазССР.- 1987. - N 11. - С. 84-87.
10. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. (Квазиправдоподобные оценки). - М.: Советское радио, 1976. - 192 с.
11. Островский В.Н. Формирование подземных вод в аридных районах Казахстана.- Л.: Гидрометеоздат, 1976. - 228 с.
12. Четвериков Н.С. О ложной корреляции // Статистические исследования (теория и практика). - М.: Наука, 1975. - С. 298-318.

Институт гидрогеологии
и гидрофизики НАН РК

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖЕР АСТЫ СУЫН
ТЕҢГЕРІМ - ГИДРОМЕТРИКАЛЫҚ ӘДІСПЕН
ҚОРЕКТЕНДІРУДІҢ БАҒАЛЫ ДӘЛДІГІ ТУРАЛЫ

Геол.-м. ф. канд. М.М. БУРАКОВ

Орталық Қазақстандағы жер асты суын теңгерім-гидрометрикалық әдіспен қоректендірудің тұрақты дәлдігі зерттеледі. Мұндай қорытынды жасауға жер асты суының табиғи қорын анықтау әдістемелігін пайдалану арқылы негіз жасалынды.