

О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВОДООТБОРЕ

Природные воды Земли формируются на основе определенного соотношения влаги и тепла, которое находит отражение в водном балансе речного водосбора, представляющем в общем виде равенство прихода (осадки) и расхода (испарение и сток) влаги. Структура элементов водного баланса сложна по происхождению. Осадки, поступающие на поверхность речного водосбора, расходуются на сток и испарение. Характер такого распределения осадков обуславливается природными условиями, в частности климатом и строением речного бассейна.

Сток речного бассейна Q формируется на его поверхности $Q_{пв}$ и в подземной зоне $Q_{пд}$, т.е. $Q = Q_{пв} + Q_{пд}$. Если общая величина стока в первую очередь зависит от объема осадков и испарения, то формирование составляющих стока, поверхностной и подземной, обусловлено строением поверхности водосбора и его толщи. По существу соотношение составляющих стока при равном количестве влаги, поступающей на поверхность речного водосбора, определяется его дренированностью. Она в свою очередь зависит от водопроницаемости водосбора, уклонов, густоты и глубины вреза речной сети, а также гидрогеологических условий: глубины, характера залегания и мощности водоносных горизонтов.

Соотношение подземной и поверхностной составляющих речного стока определяет в общем виде характер их взаимосвязи. Количественные показатели взаимосвязи природных вод динамичны во времени и непостоянны в пространстве. Доля поверхностных и подземных вод в стоке меняется в зависимости от их режима. В межень в речном стоке преобладают подземные, а в половодье и паводки — поверхностные воды. На водопроницаемых водосборах формируются значительные объемы подземных вод, на слабопроницаемых преобладает поверхностный сток.

Сток формируется в речном водосборе, который в естественном состоянии представляет единую природную систему. При антропогенном воздействии на водосбор его единая система в общем случае превращается в новую систему, состоящую из двух подсистем — естественной и нарушенной.

Заметным антропогенным фактором, изменяющим водный баланс водосбора, являются и крупные водозаборы подземных вод. Их влияние на сток особенно усиливается при отъеме подземных вод (гидравлически связанных с речной сетью), соизмеримом с водоносностью водотока. Это прежде всего сказывается на водном режиме малых водотоков, сток которых часто может соизмеряться с объемом водоотбора или быть близким к нему.

Влияние водоотбора подземных вод на водный режим рек складывается из влияния собственно отбора и изменения водного баланса в зоне развития

депресссионной воронки. В этой зоне существенно трансформируется водный баланс: происходит изменение условий формирования стока и его составляющих, а также процесса испарения [1—4].

Преобразование условий формирования составляющих стока связано с изменением характера стекания и инфильтрации, а также дренажа данной территории. С одной стороны, снижается поверхностный сток при увеличении объема инфильтрации, с другой — уменьшается степень испарения при водопонижении, что приводит к компенсации стока в речном бассейне ниже границы депрессионной воронки. Общий эффект влияния водоотбора подземных вод на сток рек определяется суммарным влиянием двух основных групп факторов, приводящим к противоположным последствиям.

Изменение стока $\Delta Q_{вз}$ в створе ниже границы развития депрессионной воронки запишем в общем виде:

$$\Delta Q_{вз} = -\Delta q_{вз} + \Delta q_{к}.$$

Здесь $\Delta q_{вз}$ — подземный водоотбор; $\Delta q_{к}$ — компенсационные факторы, состоящие из ряда основных компонентов, т.е.

$$\Delta q_{к} = -\Delta q_{пв} + (\Delta q_e + \Delta q_{сз} + \Delta q_{нд}), \quad (1)$$

где $\Delta q_{пв}$ — уменьшение поверхностного стока и переход его в подземную зону; Δq_e — уменьшение испарения; $\Delta q_{сз}$ — сработка вековых запасов вод; $\Delta q_{нд}$ — не дренируемый в естественных условиях сток.

Уменьшение поверхностного стока ($\Delta q_{пв}$) в условиях неодинаковой водопроницаемости поверхности водосборов происходит по-разному. На хорошо проницаемых почвогрунтах в зоне депрессионной воронки поверхностный сток при понижении уровней грунтовых вод до глубины, где прекращается их подток к земной поверхности, будет приближаться к нулю. Такие условия наблюдались в процессе наших исследований [5]. Однако в весенний период при значительном промерзании толщи почвогрунтов формирование поверхностного стока в таких условиях возможно. Естественно, что на слабопроницаемых водосборах поверхностный сток будет мало отличаться от того, который формировался до образования воронки в результате интенсивного водоотбора. В первом приближении, по нашим соображениям, для среднего состояния водосбора на хорошо проницаемых почвогрунтах поверхностный сток составит до 20 %, а на слабопроницаемых — около 80 % от их величины в естественных условиях в зависимости от дренированности территории в зоне депрессионной воронки.

В гидрологической практике для прогнозирования потерь стока в период весеннего половодья используют уравнение водного баланса указанной фазы режима. Однако часто из-за отсутствия необходимых данных это осуществляется по приближенным зависимостям. Так, для территории Белоруссии и соседних районов рекомендована зависимость из источника [6]:

$$Q_{в} = P - (I + E) \cdot th \cdot P / (I + E),$$

где $Q_{в}$ — весенний сток; P — осадки в виде снегозапасов и при снеготаянии ($P_{сн} + P_{ст}$); I — максимальные потери на инфильтрацию; E — испарение

Существует связь I и E с осенними влагозапасами и промерзанием почвогрунтов. Оценка потерь поверхностного стока в теплый период значительно сложнее. Практически ее производят на основе графического анализа зависимости стока Q_n с осадками P и индексом увлажнения почвы I_w . Приближенным показателем I_w может служить сток в предпаводковый период. Если такой подход не дает положительных результатов, используется выражение из литературы [6]:

$$I_w = \sum K_i P_t,$$

где K_i — коэффициент, определяемый в зависимости от температуры воздуха и обобщенных коэффициентов потерь по специальной таблице из источника [6] или обратным путем, по данным объектов аналогов; P_t — осадки за несколько предшествующих суток t .

Снижение потерь на испарение Δq_e связано с постепенным уменьшением подпитки с уровня грунтовых вод к испаряющей поверхности. Для определения этой величины при изменении уровня подземных вод предложен ряд эмпирических зависимостей. Обычно используется выражение в виде [4]

$$E_h = E_0 (1 - h/h_{кр})^n.$$

Здесь E_h — подток с уровня грунтовых вод h к испаряющей поверхности; E_0 — испаряемость; $h_{кр}$ — критическая глубина уровня грунтовых вод, с которой подток прекращается; n — показатель, изменяющийся в пределах 1–3.

Некоторые сложности использования данного уравнения связаны с невысокой точностью определения величины испарения. Однако практически такое определение Δq_e возможно и на основе экспериментальных наблюдений в условиях различных глубин понижения и почвогрунтов.

Сработка вековых запасов вод происходит постепенно и определяется как

$$\Delta q_{сз} = \frac{\mu \Delta h F_{дв}}{T}, \quad (2)$$

где μ — коэффициент водоотдачи; Δh — среднее снижение уровня подземных вод в зоне депрессионной воронки; T — период сработки; $F_{дв}$ — площадь депрессионной воронки, которая постепенно возрастает и определяется как площадь круга [7]:

$$F_{дв} = \pi R^2, \text{ а } R = 1,5 \sqrt{(kmt)/\mu'}.$$

Здесь k — коэффициент фильтрации; m — мощность водоносного пласта; t — продолжительность откачки (работы водозабора); μ' — удельная средняя водоотдача при понижении уровня на определенную величину.

Недренируемый сток подземных вод $\Delta Q_{нд}$ возможно оценивать по разнице размеров подземного стока крупных рек $Q_{нд}$ данного региона и в зоне развития депрессионной воронки ($Q_{пн}$), т.е. $\Delta Q_{нд} = Q_{пн} - Q_{пн}$. Некоторые рекомендации по оценке подземного стока в реки различного порядка изложены в источнике [8],

Составляющие уравнения (2) могут быть также получены экспериментальным путем на основе руслового водного баланса. Для осуществления этой задачи определяются границы зоны депрессионной воронки, в пределах которой сказывается ее влияние на речной сток. Это может быть установлено по результатам исследования уровней и уклонов подземных вод вдоль уреза водотока в зоне предполагаемого влияния. По этим данным можно оценить и площадь зоны влияния, приняв длину участка (по прямой) за диаметр $2R$ по формуле $F_{дв} = \pi R^2$.

Оценка влияния водозабора на основе метода руслового баланса производится с использованием одновременных измерений расходов воды по длине реки за пределами зоны влияния и внутри ее. Такая информация, очевидно, служит основой не только для оценки общего изменения стока, но и для некоторого расчленения этого влияния по основным факторам. Так, если определить расходы воды выше и ниже зоны влияния (депрессионной воронки), а также створа водозабора, то можно оценить роль испарения в общем изменении стока или других составляющих в выражении (1). При этом допускается, что остальные достоверно определены другими методами, изложенными выше. Метод руслового водного баланса, основанный на данных о стоке по длине реки, дает также возможность контроля оценок изменений, выполненных по уравнению баланса (1). Выводы о масштабах влияния подземного водоотбора на сток необходимо увязывать с периодом работы водозабора, так как оно нарастает во времени до практической стабилизации.

Если имеется информация по сточку реки ниже зоны влияния до Q_1 и в период Q_2 водоотбора подземных вод, то общее изменение стока $\Delta Q_{вз}$ будет определено на основе статистической обработки данных [9] по разнице стока двух периодов с учетом их водности: $\Delta Q_{вз} = (Q_1 - Q_2) \cdot K_{в}$; $K_{в}$ — коэффициент водности [9]. По разнице изменений стока в летнюю и зимнюю межень возможна также оценка уменьшения потерь на испарение в зоне понижения уровня грунтовых вод, т.е. в пределах депрессионной воронки.

После оценки влияния водоотбора $\Delta Q_{вз}$ подземных вод на сток реки $\Delta Q_{вз}$ можно определить их соотношение в процессе эксплуатации водозабора по выражению $\alpha_{вз} = \Delta Q_{вз} / \Delta q_{вз}$. По имеющимся данным [2, 5, 10], в большинстве случаев $\Delta Q_{вз} < \Delta q_{вз}$, что свидетельствует об эффективности использования подземных вод в связи с некоторым возрастанием водных ресурсов территории.

При возврате (сбросе) использованных вод ($\Delta q_{вв}$) в эту же реку влияние подземного водоотбора на сток представим в виде

$$\pm \Delta Q'_{вз} = -\Delta q_{вз} + \Delta q_{к} + \Delta q_{вв}$$

Тогда общее влияние на сток окажется незначительным: $\Delta Q'_{вз} \geq 0$; $\Delta Q'_{вз} > -\Delta q_{вз}$; $\Delta Q'_{вз} < -\Delta q_{вз}$. Характер этих соотношений будет зависеть от условий взаимосвязи поверхностных и подземных вод и степени их использования. В большинстве случаев $\Delta Q'_{вз} \geq 0$, так как компенсационные факторы, приводящие к увеличению стока, погашаются безвозвратными потерями, уменьшающими сток. При сбросе вод в другой водоток происходит лишь

перераспределение стока. Он уменьшается в местах отбора вплоть до пересыхания малых водотоков и увеличивается в реках, куда поступают подземные воды после их использования. Это подтверждается также анализом рядов стока по водосборам, где эксплуатируют подземные воды.

Рассмотренные методические подходы к оценке влияния отбора подземных вод на сток позволяют при наличии определенной информации получать достоверные результаты, что подтверждает опыт таких исследований [5].

Л и т е р а т у р а

1. Д о б р о у м о в Б.М., У с т ю ж а н и н Б.С. Преобразование водных ресурсов и режима рек центра ЕТС. — Л., 1980. — 221 с.
2. М и н к и н Е.Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрологических и водохозяйственных задач. — М., 1973. — 103 с.
3. Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности / Под ред. В.М. Фомина. — М., 1978. — 264 с.
4. А в е р ь я н о в С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. — М., 1982. — 237 с.
5. Д р о з д В.В. Преобразование малых рек при водохозяйственных мероприятиях // Комплексное использование водных ресурсов. — М., 1979. — Вып. 7. — С. 63—67.
6. Б е ф а н и Н.Ф., К а л и н и н Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. — Л., 1983. — 390 с.
7. Мелиорация: Энциклопедическ. справочник. — Минск, 1984. — 567 с.
8. Д р о з д В.В. Методика оценки стока подземного происхождения малых рек Белоруссии // Проблемы использования и охраны водных ресурсов / Под ред. П.Д. Гатилло. — Минск, 1972. — С. 14—19.
9. Анализ однородности рядов речного стока: Рекомендации. — Минск, 1985. — 40 с.
10. З л о т н и к В.А., К а л и н и н М.Ю., У с е н к о В.С., Ч е р е п а н с к и й М.М. Прогнозирование влияния эксплуатации подземных вод на гидрогеологические условия. — Минск, 1985. — 246 с.

УДК 556.55.631.6

К.Ф. БНКОВСКИЙ, канд.геогр. наук,
А.А. ИОДО (ЦНИИКИВР)

РОЛЬ ПРУДОВ В ФОРМИРОВАНИИ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ

В условиях усиления мероприятий по охране природы большое значение приобретает количественная оценка разных аспектов преобразования водного режима в районах мелиорации земель. Особое внимание в последние годы уделяется охране водных ресурсов бассейна реки Десны, значительная часть которого находится в зоне влияния крупных водозаборов подземных вод.

Реки Навля и Нарусса берут начало на западных склонах Среднерусской возвышенности в пределах Орловской области и впадают в Десну на территории Брянской области, причем их водосборы граничат между собой. Более крупные притоки Наруссы, а также реки Сев и Усожа начинаются на территории Курской области. Рельеф — крупнохолмистый в верховьях рек, равнинный в средней их части и низинный у впадения в Десну. По географическому положению исследуемые водосборы, являясь восточной окраиной Припятско-Деснинского Полесья, находятся в зоне достаточного увлажнения. Средние