

## ВОДНЫЙ БАЛАНС Г. МИНСКА

На современном этапе развития водоснабжения г. Минска решаются вопросы совершенствования платы за воду для компенсации эксплуатационных затрат Вилейско-Минской водной системы, обеспечивающей обводнение р. Свислочь. Для промышленных предприятий введена плата за речную воду. Эксплуатационные организации полагают, что надо вводить плату и за подземную воду, забираемую из собственных скважин предприятий, поскольку ее пополнение в той или иной степени обеспечивается из реки. Непременным условием введения такой платы должно стать уточнение количественных связей между речной и подземной водой. Иными словами, следует уточнить источники пополнения подземной воды и определить ущерб, наносимый речному стоку действием водозаборов подземной воды.

В работе Р.А.Станкевича и М.М.Черепанского [1] указывается, что ущерб, наносимый речному стоку ряда малых рек Белоруссии, может достигать 70–92%. Однако при этом не устанавливаются различия между сельскими и урбанизированными территориями, влияющими на изменение речного стока.

В работе В.В.Куприянова [2] при составлении водного баланса учтена инфильтрация воды из русла реки, однако не рассматривается перехват грунтового питания реки работающими скважинами. По этой причине допущена большая неувязка водного баланса.

В настоящей работе величину ущерба речному стоку предлагается определять по уточненному водному балансу территории, которую занимает г. Минск с окрестностями, в пределах водосбора, ограниченного створами водпостов "Дрозды" (на входе в город) и "Королищевичи" (на выходе реки из города) за начальный трехлетний период эксплуатации Вилейско-Минской водной системы (1976–1978 гг.). При этом в основу расчета водного баланса г. Минска вводятся официальные данные измерений расхода р. Свислочь, производимых службами Госкомгидромета.

Формулу водного баланса г. Минска с выделением ущерба, наносимого речному стоку, запишем следующим образом (в м<sup>3</sup>/с):

$$\begin{aligned}
 Q_{p.c} = & (Q_{б.п}^{непр} - \Delta Q_{б.п}^{исп} + \sum_1^n \Delta Q_i^{ув.с} - \sum_i^m \Delta Q_i^{ум.с}) + (Q_D + Q_{в.в} + \\
 & + Q_{мса}) - (Q_k + Q_{р.в}) \pm \sum Q_{проч} \pm Q_{неучт}
 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $Q_{б.п}^{непр}$  – речной сток, определяемый с учетом прироста поверхностного стока от наличия непроницаемых поверхностей территорий города;  $\Delta Q_{б.п}^{исп}$  – величина уменьшения стока от испарения воды из-за расширения площади водной поверхности водоемов;  $\sum_1^n \Delta Q_i^{ув.с}$  – сумма величин прироста стока от учета "п" факторов;  $\sum_1^m \Delta Q_i^{ум.с}$  – сумма величин снижения стока от уче-

та " $\bar{m}$ " факторов;  $Q_D$  — расход реки на входном створе по водпосту "Дрозды";  $Q_{в.в}$  — расход воды промышленных водовыпусков;  $Q_{МСА}$  — расход очищенных сточных вод Минской станции аэрации;  $Q_K$  — расход реки на выходном створе по водпосту "Королищевичи";  $Q_{р.в}$  — расход воды промышленных речных водозаборов;  $\Sigma Q_{проч}$  — величины, учитывающие прочие статьи водного баланса, например изменение объема водохранилищ;  $Q_{неучт}$  — возможные неучтенные статьи баланса, которые могут рассматриваться в виде погрешности расчета.

Величину  $Q_{б.п}^{непр}$  определим по формуле

$$Q_{б.п}^{непр} = M \frac{F_K - F_D}{10^3} + (0,6 \cdot 0,95 \frac{h_{ос} F_H}{10^3}), \quad (2)$$

где  $M$  — модуль стока р. Свислочь в естественном состоянии (до урбанизации);  $F_K, F_D$  — соответственно площади водосборов р. Свислочи по створам водпостов "Королищевичи" и "Дрозды";  $0,6$  — коэффициент пересчета максимального коэффициента дождевого стока для непроницаемых покрытий в среднегодовой. Коэффициент  $0,6$  определен за 4 года наблюдений за осадками в г. Минске, исходя из условия, что поверхностный сток образуется после заполнения водой западин и смачивания поверхностей. На это расходуется до 3 мм осадков, выпадающих за одни сутки;  $0,95$  — коэффициент дождевого стока для непроницаемых поверхностей (СНИиП II-Г. 6—62);  $F_H$  — площадь непроницаемых покрытий территории г. Минска;  $h$  — годовой слой осадков.

Модуль стока  $M$  водосбора р. Свислочь в естественном состоянии определен по створу бывшего водпоста "Заречье". Среднемноголетний модуль стока, соответственно проведенным измерениям Гидрометеослужбы за 1933—1954 гг. [3], составил  $6,9 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ . Ошибка вычисления среднемноголетнего модуля стока из-за короткого ряда наблюдений, согласно теории ошибок [4], находится в пределах  $\pm 4,06\%$ .

Из  $329 \text{ км}^2$  водосборной площади между водпостами "Дрозды" и "Королищевичи" территория г. Минска на 01.01.1977 г. составляла  $168 \text{ км}^2$ . Площадь непроницаемых покрытий города, включая площади кровель, асфальтированных улиц, производственных и складских территорий, которые непосредственно связаны с ливневой канализацией, равна  $27 \text{ км}^2$ . Для других видов покрытия с увеличенными коэффициентами общего дождевого стока по сравнению с естественными условиями (бульжные и плиточные мостовые, спланированный и укатанный грунт и др.) полагаем возможным ввести понятие эквивалентной площади, приведенной к максимальному коэффициенту стока —  $0,95$ . Эквивалентная площадь для всех видов покрытий  $10 \text{ км}^2$ .

При учете дополнительных факторов, увеличивающих речной сток, проанализированы: прирост осадков над городом по сравнению с окружающей местностью, мойка улиц; орошение зеленых насаждений, сельхозугодий за счет источников, не связанных с поверхностным и подземным стоком реки (например, из городского водопровода); переток воды из других водосборов.

Оценены следующие факторы, уменьшающие сток: орошение сельхозугодий за счет источников, связанных со стоком реки; интенсификация испарения воды с повышением температуры воздуха в черте города; вывоз снега за пределы водосбора; использование дренажных вод и атмосферных осадков в техническом водоснабжении; переток воды в другие водосборы.

Проведенная оценка значимости рассмотренных факторов и их сравнительный анализ показали, что влияние ряда из них относительно мало. В условиях г. Минска наиболее значительное воздействие на изменение стока может оказать прирост осадков.

Так, за 1976–1979 гг., по данным наблюдений двух постов, в черте города выпало на 322 мм осадков больше, чем в его окрестностях (в среднем за год более 80,5 мм осадков). Это обусловило прирост речного стока примерно на 0,15–0,20 м<sup>3</sup>/с. Остальные факторы могут изменить речной сток на один-два порядка меньше. Исходя из этого, полагаем возможным исключить из дальнейших расчетов величину влияния рассмотренных и, возможно, неучтенных дополнительных факторов.

Расчет баланса поверхностных вод г. Минска за 1976–1978 гг. представлен в табл. 1.

При расчете боковой приточности были приняты фактические значения модуля условноестественного или восстановленного стока реки Свислочь по водпосту "Гонолес" (учитывая влияние Заславьского водохранилища на изменение естественного стока реки). Средний за 3 года модуль стока р. Свислочь оказался выше среднемноголетнего на 7%.

Величины  $Q_{MCA}$ ,  $Q_{p.v.}$  и  $Q_{v.v.}$  за расчетный период принимались в соответствии с их динамикой. На рис. 1 представлен график изменения этих величин. Характерно, что величина  $Q_{v.v.}$  значительно уменьшилась (начиная со второго квартала 1975 г.) после прекращения непосредственного сброса в реку недостаточно очищенных сточных вод предприятий (с переброской их

Таблица 1

Водный баланс г. Минска за 1976–1978 гг.

Статьи баланса	Условные обозначения	Годы			В среднем за 3 года
		1976	1977	1978	
Приходная часть					
Боковая приточность	$Q_{нпр,п}$	2,37	2,56	2,51	2,48
Расход реки на входе (в.п. "Дрозды")	$Q_D$	7,76	9,69	11,80	9,75
Расход условно чистых вод промышленных водовыпусков	$Q_{v.v.}$	0,16	0,16	0,16	0,16
Расход станции аэрации	$Q_{MCA}$	5,20	5,50	5,80	5,50
Итого		15,49	17,91	20,27	17,89
Расходная часть					
Расход речных водозаборов предприятий	$Q_{p.v.}$	0,73	0,73	0,73	0,73
Расход реки на выходе (в.п. "Королищевичи")	$Q_K$	12,60	15,20	16,96	14,92
Итого		13,33	15,93	17,69	15,65
Ущерб речному стоку	$Y_{p.c.}$	2,16	1,98	2,58	2,24

в общегородскую канализацию). Пока практически не увеличивается забор речной воды предприятиями. Расход сточных вод, проходящих через станцию аэрации, возрастает ежегодно на 5–6%, что соответствует росту города и промышленного производства.

Полученная из баланса величина ущерба, наносимого речному стоку, ( $Y_{p.c} = 2,24 \text{ м}^3/\text{с}$ ) относится на действие водозаборов подземных вод. Погрешности в определении этой величины могли возникнуть из-за принятия  $Q_{б.п}^{исп} = 0$ , неизменной величины объема воды в водохранилищах в пределах расчетного срока, неточности расчета  $Q_{б.п}^{непр}$ , неравенства воздействия дополнительных факторов, увеличивающих или уменьшающих сток, а также из-за обычной неточности измерения гидрологических величин. При этом, очевидно, наибольшую погрешность содержит расчет величины боковой приточности с учетом дополнительных факторов, влияющих на сток.

Анализ показал, что величиной  $Q_{б.п}^{исп}$  можно пренебречь в связи с ее незначительностью. Объем воды в водохранилищах в начале и в конце расчетного периода был практически одинаковым. Учет увеличения боковой поверхности приточности из-за наличия в городе непроницаемых поверхностей дал прирост речного стока только на  $0,21 \text{ м}^3/\text{с}$ , или на 9%, и полагался реальным.

Тем не менее ошибка в определении  $Q_{б.п}^{непр}$  в соответствии с формулой (2) и допуск возможной погрешности каждого члена формулы соответственно [4] оценена в пределах  $\pm 8\%$ .

Имея в виду что измеряемые расходы воды обычно определяются с неточностью  $\pm 2\%$ , полагаем возможным принятая общую ошибку определения  $Y_{p.c}$  в пределах  $\pm 10\%$ .

На основании проведенного анализа и данных табл. 1 можно оценить ущерб наносимый речному стоку действием водозаборов подземных вод (в среднем за 1976–1978 гг.) в размере  $2,24 \pm 0,22 \text{ м}^3/\text{с}$ . В дальнейшем будем исходить из величины  $2,24 \text{ м}^3/\text{с}$ , что соответствует годовому объему воды, равному  $70 \text{ млн. м}^3$ .

С учетом фактического объема переброски воды за три года по Вилейско-Минской водной системе в количестве  $510 \text{ млн. м}^3$ , получим: ущерб, наносимый речному стоку составил  $\approx 40\%$ . Относительно среднего стока, формируемого на водосборе между створами водпостов "Королищевичи" и "Дрозды", этот ущерб составил 83%. Относительно суммарной производительности всех подземных водозаборов, действующих на водосборе р. Свислочь между створами водпостов "Королищевичи" и "Дрозды", он равнялся 85%. Следовательно, только 15% подземных запасов воды не имеют гидравлической связи с рекой или ее стоком.

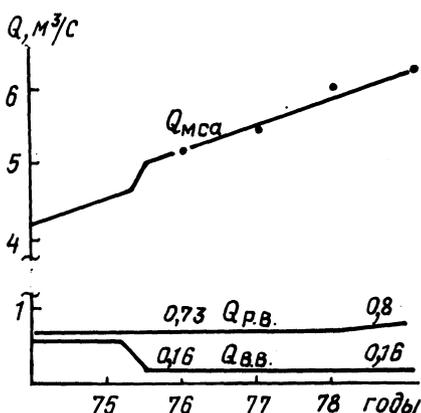


Рис. 1. Расходы очищенных сточных вод Минской станции аэрации ( $Q_{мса}$ ); речных водозаборов ( $Q_{р.в.}$ ); ведомственных выпусков условно чистых вод ( $Q_{в.в.}$ ).

Поскольку подземное питание реки в естественных условиях равняется 54% от всего стока [5], или  $1,2 \text{ м}^3/\text{с}$ , а в настоящее время даже меньше (под непроницаемыми покрытиями подземный сток не формируется), можно считать, что водозаборы подземных вод пополняются почти наполовину за счет перехвата подземного стока реки, а остальная часть поступает из русла реки путем инфильтрации. Инфильтрационный режим р. Свислочь в зоне действия подземных водозаборов обуславливается наличием нескольких общих депрессионных воронок с уровнями воды ниже уровня воды р. Свислочь. Имеется общая депрессионная воронка в районе концентрации ведомственных промышленных скважин.

В случае расположения одиночных скважин вне общей депрессионной воронки вода к скважине может поступать не только от реки. В таком случае у реки, теряющей воду за счет инфильтрации, прирусловые скважины питаются преимущественно речной водой. Поэтому по источнику пополнения запасов воды прирусловые скважины можно приравнять к обычным поверхностным водозаборам.

Доля речной воды в водозаборе прирусловых скважин может находиться в пределах 85–100%. Для удаленных от русла скважин доля речной воды (за счет инфильтрации и перехвата грунтового питания), очевидно, составляет 70–85%.

Для более точного учета долевого ущерба каждой скважины, наносимого речному стоку, нужны специальные гидрогеологические исследования.

В связи с полученными выводами о подпитке водозаборов подземных вод, расположенных в черте города, за счет перехвата подземной части речного стока и непосредственной инфильтрации русловых вод при условии приравнивания прирусловых водозаборов подземных вод по источникам пополнения воды к поверхностным водозаборам становится возможным решение вопроса о введении платы за подземную воду в счет компенсации эксплуатационных затрат Вилейско-Минской водной системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Станкевич Р.А., Черепанский М.М. Проблемы оценки влияния водозаборов подземных вод на сток рек Белоруссии. — В сб.: Особенности формирования гидрогеологических и инженерно-геологических условий Белоруссии. Минск, 1979.
2. Куприянов В.В. Водный баланс городов и урбанизированных территорий. — В сб.: Проблемы современной гидрологии. Л., 1979.
3. Гидрологический ежегодник. — М., 1963–1977.
4. Яковлев К.П. Математическая обработка результатов измерений. — М., 1953.
5. Дрозд В.В. Водный режим реки Свислочь и его изменение. — В сб. науч. тр. "Комплексное использование водных ресурсов". М., 1975, вып. 3.