

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Б. И. КУДЕЛИН

**КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ПРИБЛИЖЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОДЗЕМНОГО ПИТАНИЯ РЕК**

(Представлено академиком Ф. П. Саваренским 31 VII 1946)

Мы уже отмечали<sup>(1)</sup>, что гидрологические методы определения подземного питания рек по меженным расходам рек или по гидрографу недостаточны. Подземное питание рек представляет собой сложное явление, которое складывается из многих элементов подземного стока. В нем участвуют различные типы и категории подземных вод с разными закономерностями стока. Динамика стока отдельных водоносных горизонтов, дренируемых речной долиной, определяется режимом водоносных горизонтов, режимом реки и степенью гидравлической связанности подземных потоков с рекой.

Определение объема подземного стока (питания) реки за счет вод водоносных горизонтов, не имеющих гидравлической связи с рекой, не вызывает принципиальных трудностей. Оно может быть произведено на основании кадастра источников, выходящих в бассейне реки.

Ниже мы рассмотрим вопрос о стоке подземных вод из водоносных горизонтов, имеющих гидравлическую связь с рекой, который (сток) для большинства равнинных рек является одним из основных источников их подземного питания. Режим подземных вод, имеющих гидравлическую связь с рекой, тесно связан с режимом реки и, в свою очередь, режим реки в значительной степени зависит от режима питающих ее водоносных горизонтов. Поэтому определение подземного питания реки за счет указанной категории подземных вод требует обоюдного учета двух этих факторов в их неразрывной связи и представляет наибольшие трудности.

В гидрологической литературе отсутствуют предложения решения вопроса о подземном питании рек методами гидравлики подземных вод, хотя казалось бы, что самым прямым путем к цели было бы рассматривать реку как естественную дренаж подземных потоков. Сток грунтовых вод в реку представляет собой случай неустановившегося во времени движения грунтовых вод\*. При решении практических задач по гидравлике подземных вод Felber, Forcheimer, Muskat<sup>(2)</sup>, Каменский<sup>(4)</sup> и др. считают применимым закон Дарси также и для случая неустановившегося движения грунтовых вод, „рассматривая неустановившееся движение грунтовых вод как последовательность ряда установившихся движений“<sup>(3)</sup>.

Это положение позволяет подсчитать расход грунтового потока

\* Под «грунтовыми водами» понимаются подземные воды со свободной поверхностью.

$q_t$  на любой момент времени  $t$  методом конечных разностей, разработанным Каменским (4), по формуле:

$$q_t = k_t^{cp} h_t J_t \pm \frac{\Delta h_t l_t \mu_t}{2}, \quad (1)$$

где  $q_t$  — расход грунтового потока на единицу его ширины (единичный расход);  $k_t^{cp}$  — средний коэффициент фильтрации грунтов;  $h_t$  — среднее арифметическое из высоты уровня воды в реке и расчетной наблюдательной скважине над водоупором водоносного пласта;  $J_t$  — гидравлический уклон;  $\Delta h_t$  — абсолютная величина положительного или отрицательного приращения уровня грунтовых вод за время  $\Delta t$ ;  $l_t$  — расстояние от уреза реки до оси наблюдательной скважины и  $\mu_t$  — величина водоотдачи или недостатка насыщения грунта в зоне колебания уровня вод.

Если по какому-либо пункту реки имеются режимные наблюдения за колебаниями уровня речных и грунтовых вод прибрежной зоны и известно положение водоупора, то становится возможным вычислить величины  $h_t$ ,  $J_t$ ,  $\Delta h_t$  и  $l_t$  для любого момента времени  $t$ , а зная  $k_t^{cp}$  и  $\mu_t$  — и расход грунтового потока. Величина гидравлического уклона  $J_t$  равна разности абсолютных отметок уровня грунтовых и речных вод, деленной на расстояние от уреза реки до оси наблюдательной скважины. Если река представляет собой случай несовершенного (висячего) дренажа, то при вычислении  $J_t$  в знаменатель вводится соответствующая поправка (5).

Таким образом, располагая данными колебаний уровней речных вод и грунтовых вод прибрежной зоны, а также гидрогеологическими характеристиками грунтов, можно вычислить расход грунтового потока, а следовательно и величину грунтового питания реки (за его счет) для любого момента времени.

Произведя достаточное число таких подсчетов расхода грунтового потока для всех характерных фаз жизни реки годового цикла и изобразив полученные данные в виде графика, где по оси ординат будут отложены величины расходов грунтового потока в единицу времени, а по оси абсцисс — дни года, найдем ряд точек, соединив которые плавной кривой, получим кривую грунтового стока на единицу длины берега реки или, иначе, гидрограф единичного грунтового стока в реку.

Однако расчет абсолютных величин расхода грунтового потока таким способом возможен только для небольших, хорошо изученных участков реки, для которых возможно получение исходных данных, входящих в уравнение (1). Применение метода непосредственных гидрогеологических расчетов расхода грунтового потока в целях определения подземного питания реки вряд ли осуществимо ввиду практической невозможности иметь достоверные значения  $k_t^{cp}$ ,  $h_t$  и  $\mu_t$  для больших протяжений реки.

Решение настоящей задачи возможно, исходя из следующих положений. Опыт изучения режима грунтового стока методом построения кривых единичных расходов по некоторым участкам нижнего течения р. Волги показал, что характер и общая закономерность стока подземных вод из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой, определяется, главным образом, режимом реки и, в меньшей степени, зависит от литологических и водных свойств грунтов, слагающих берег, а также что учет величины приращения расхода грунтового потока за счет естественных колебаний уровня грунтовых вод, выражаемого вторым членом  $\frac{\Delta h_t l_t \mu_t}{2}$  в уравнении (1), не влияет существенным образом на форму гидрографа единичного стока при небольших значениях  $\Delta t$  и  $l_t$  даже в периоды паводков, а следовательно и на процентное распределение грунтового стока во времени. Это по-

зволяет строить кривые стока, не производя вычислений второго члена в уравнении (1). Кроме того, если принять, что величина  $k_t^{cp} = \text{const}$ , то уравнение (1) можно написать в виде:

$$q_t = k^{cp} \varphi(h_t, J_t), \quad (2)$$

т. е. расход грунтового потока при  $k_t^{cp} = \text{const}$  является функцией мощности водоносного пласта и гидравлического уклона.

Таким образом, задача изучения режима грунтового стока прибрежных зон сводится в таких случаях к построению кривых функций  $\varphi(h_t, J_t)$ , а иногда — при малом изменении  $h_t$  — к построению кривых  $\varphi(J_t)$ , для чего не требуется знания гидрогеологических констант грунтов. Оказалось также, что кривые грунтового стока береговых зон имеют сходный характер на значительном протяжении реки. Это дает возможность, построив некоторое (ограниченное) число кривых грунтового стока по отдельным створам реки, найти осредненные (типовые) кривые режима грунтового стока для больших ее протяжений, которые будут характеризовать динамику грунтового стока реки в указанных пределах.

После того как построены осредненные кривые грунтового стока из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой, можно перейти к количественному определению объема этого элемента грунтового стока, исходя из следующих соображений. Поскольку в период межени, когда отсутствует поверхностный сток, весь расход реки является продукцией ее подземного питания, то, определив приращение меженного расхода реки между двумя створами, мы найдем тем самым значение расхода грунтового потока\* для данного участка реки, которому будет соответствовать определенная (меженная) ордината на осредненной кривой режима грунтового стока. Приняв это значение ординаты за единицу и выразив все остальные ординаты для других сроков наблюдений в относительных величинах, приведенных к единице, нетрудно получить расход грунтового потока на любой момент времени  $t$ , перемножив соответствующее значение приведенной величины ординаты на величину меженного приращения расхода реки.

Данная величина грунтового питания, полученная таким образом, будет вполне объективной и научно обоснованной, отвечающей реальным гидрологическим и гидрогеологическим условиям бассейна реки. Определение указанного элемента подземного питания реки по этому способу может быть произведено для любого времени года вне зависимости от метеорологических условий и наличия поверхностного питания реки.

Закономерность стока в реку напорных (артезианских) вод из водоносных горизонтов, прорезаемых руслом реки (гидравлически связанных с рекой), выражается еще более простой зависимостью. Расход артезианского потока на единицу его ширины определяется формулой

$$q_t' = k^{cp'} m J_t', \quad (3)$$

где  $m$  — мощность пласта. Очевидно, что в данном случае  $k^{cp'}$  и  $m$  не зависят от колебания уровня воды в реке, а потому  $k^{cp'} = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ . Следовательно, динамика стока в реку напорных артезианских вод является функцией лишь гидравлического уклона, т. е.

$$q_t' = k^{cp'} m \varphi(J_t'). \quad (4)$$

\* При отсутствии других источников меженного питания реки (об этом см. ниже).

Принцип и приемы построения гидрографа (кривой) артезианского стока в реку остаются, в общем, теми же, что и для грунтового стока.

В случае смешанного питания реки за счет вод как грунтовых, так и артезианских потоков, а также водоносных горизонтов, гидравлически не связанных с рекой, данная методика позволяет получить количественное выражение отдельных компонент подземного стока в реку в том случае, когда имеются данные для оценки доли их участия в меженном расходе реки. В противном случае она дает возможность исследовать качественную сторону явления или получить суммарную величину грунтового и артезианского стоков в реку, если кривые  $\varphi(h_t, J_t)$  и  $\varphi(J_t')$  имеют сходный характер, а воды источников, гидравлически не связанных с рекой, принимают незначительное участие в меженном расходе реки и ими можно пренебречь.

Переходя к общей оценке подземного питания реки, нужно иметь в виду, что в бассейне крупной реки возможно наличие разных гидрогеологических условий подземного питания, представляющих в целом сложную картину подземного стока. Поэтому, для упрощения задачи и так как форма гидрографа подземного стока, положение его максимумов и минимумов зависят не только от гидрогеологических, но и от гидрологических и климатических факторов, которые также не остаются постоянными во всех частях бассейна, то при подсчете подземного питания по бассейну реки нельзя ограничиться построением гидрографа по одному (замыкающему) створу реки. Необходимо разбить как главную реку, так и ее притоки на отдельные участки по признаку сходной характеристики всего комплекса природных условий, влияющих на подземный сток реки. Только построив характеристические кривые подземного стока по отдельным типичным участкам реки для всех категорий подземных вод (<sup>1</sup>), принимающих участие в стоке реки, можно получить правильное представление о развитии процесса во времени и пространстве и обоснованно подойти к обобщенной характеристике подземного питания в целом по бассейну реки.

Из изложенного следует, что научная постановка вопроса о подземном питании рек должна основываться на комплексном изучении режима поверхностных и подземных вод. Это требует расширения программы наблюдений речных гидрометрических станций и постов за счет наблюдений за режимом подземных вод.

Получение данных таких согласованных наблюдений по речным системам могло бы привести к общему решению вопросов о подземном питании рек и подземном стоке (зоны дренирования) вообще, имеющих такое высокое теоретическое и практическое значение для гидрологии и гидрогеологии.

Лаборатория гидрогеологических проблем  
Академии Наук СССР

Поступило  
31 V 1946

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. И. Куделин, ДАН, 52, № 1 (1946). <sup>2</sup> M. Muskat, The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media, N.-Y. — London, 1937. <sup>3</sup> П. Я. Полубаринова-Кочина, Некоторые задачи плоского движения грунтовых вод, 1942. <sup>4</sup> Г. Н. Каменский, Основы динамики подземных вод, 1943. <sup>5</sup> Н. К. Гиринский, Руководство по расчету притоков воды в горизонтальные дренажи военных инженерных сооружений, 1944.