

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА РЕЧНОГО СТОКА

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ДЛЯ ПОДПОРНОГО ТИПА РЕЖИМА ПОДЗЕМНОГО СТОКА

**РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ПО МЕТОДИКЕ
Б.И. КУДЕЛИНА – О.В. ПОПОВА**

**РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ПО МЕТОДИКЕ
Н.Н. ВЕРИГИНА**

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ДЛЯ НИСХОДЯЩЕГО ТИПА РЕЖИМА ПОДЗЕМНОГО СТОКА

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА РЕЧНОГО СТОКА

Определение элементов подземного потока в области его разгрузки наиболее эффективно по данным гидрологических замеров. Для этих целей используют гидрограф речного стока – временной график изменчивости расхода реки, измеряемого в гидрометрическом створе на объектах территориальной опорной гидрологической сети. В гидрографе речного стока интегрально проявляются составляющие подземной разгрузки водоносных горизонтов, дренируемых рекой.

Метод расчленения гидрографа позволяет получить суммарные или средние (на единицу площади) величины подземного стока, формирующегося во всём речном бассейне выше замыкающего створа, в котором производится измерение речного стока и построение расчётного гидрографа. Методика расчленения гидрографа реки основывается на следующих положениях [1, 3]:

– Динамика подземного стока отдельных водоносных пластов определяется степенью гидравлической связи этих пластов с рекой.

– Расчленение гидрографа реки заключается в выделении на нём подземной составляющей с учётом закономерностей динамики подземного стока в реку.

При изучении динамики подземного стока в реки следует различать [1]:

1) Подземные воды, гидравлически связанные с рекой (преимущественно подпорный тип режима подземного стока)

2) Подземные воды, гидравлически не связанные с рекой (преимущественно нисходящий тип режима подземного стока)

Гидрограф речного стока, как правило, имеет ассиметричную форму и включает ветвь подъёма, пик и ветвь спада (рис. 1). На территории России наиболее распространены реки с весенним половодьем, летне-осенними паводками и низкой зимней меженью [30].

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ДЛЯ ПОДПОРНОГО ТИПА РЕЖИМА ПОДЗЕМНОГО СТОКА

Метод расчленения гидрографа сводится к выделению подземной составляющей из общей кривой стока.

Наиболее просто на гидрографе выделяется период, когда река питается только подземными водами – это периоды устойчивой зимней и летней межени (срезка гидрографа по вертикальным прямым) (рис. 1). Включение в анализ условий формирования подземного стока, рассмотрение комплексных графиков элементов



гидрологического режима объективно позволяют определить степень участия поверхностных вод, поступающих в реку от дождей и оттепелей в этот период.

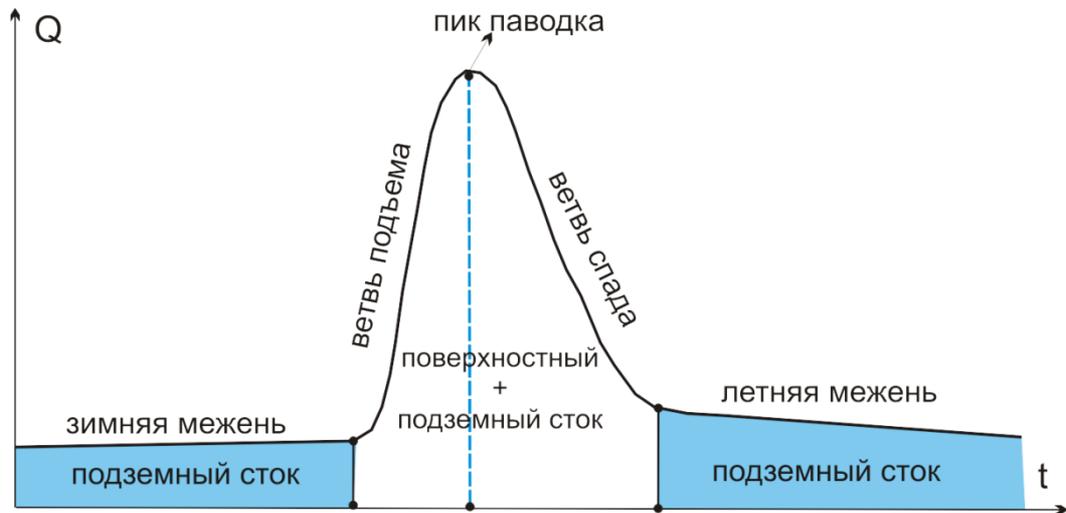


Рис. 1

Наиболее сложным является выделение подземного стока в реку для периодов половодья и больших паводков.

Во время половодья (паводка) может наблюдаться принципиально два типа стока:

Тип 1 – подземный сток в период паводка сначала уменьшается, достигает некоторого минимума и затем снова увеличивается к концу паводка;

Тип 2 – подземный сток в период паводка сначала уменьшается, доходит до нуля и сменяется фильтрацией из реки, достигающей максимума в некоторый момент времени, затем фильтрация из реки уменьшается и снова сменяется притоком подземных вод, увеличивающимся к концу паводка (процесс берегового регулирования подземного стока).

В отечественной практике гидрогеологических расчётов обычно используются два подхода (метода) для выделения подземного стока в период половодья или паводков.

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ПО МЕТОДИКЕ Б.И. КУДЕЛИНА – О.В. ПОПОВА

Основные предпосылки: тип режима подпёртый, во время половодья (паводка) наблюдается 2-й тип стока – условия берегового регулирования. Меженная фаза отделяется срезкой по вертикальным прямым АВ и DE (рис. 2).

Линия АВ характеризует прекращение подземного питания реки. Однако, при достаточно большом бассейне в замыкающем створе после этого могут проходить подземные воды, ранее поступившие в русло в верхней части бассейна. Время прекращения стока этих вод в замыкающем створе (точка F) легко рассчитать, если



имеются данные о начале и конце половодья (паводка) в верховьях бассейна и о скорости добегания русловых вод. Максимальное значение средней скорости добегания по длине реки $v_{\text{доб}}$ определяется в зависимости от характерного максимального расхода воды Q для расчётного периода и уклона выровненного продольного профиля реки I по формуле:

$$v_{\text{доб}} = 13 \cdot (20n)^{-3/4} \cdot I^{1/3} \cdot Q^{1/4},$$

где n – средний по всей длине реки коэффициент шероховатости русла и поймы ($n \sim 0.04 \div 0.06$), определяется с помощью специальных вспомогательных таблиц, которые уточняются гидрологами по фактическим материалам наблюдений [3], Q – расход воды, I – уклон водной поверхности.

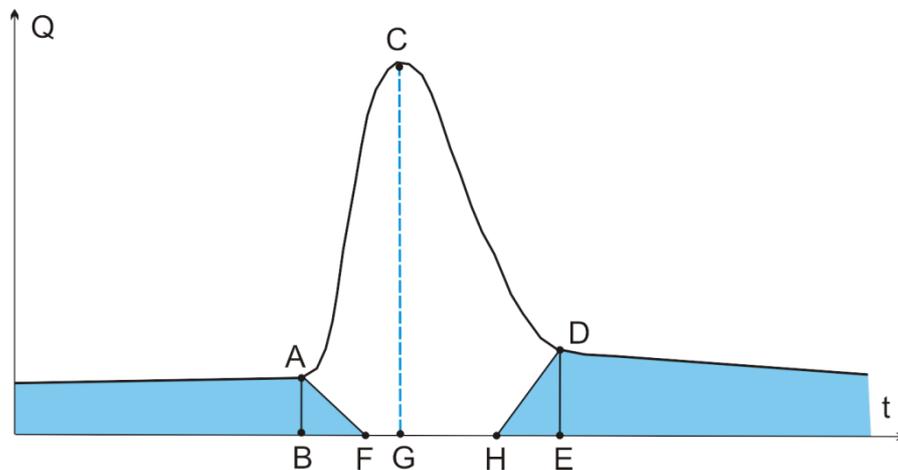


Рис. 2

Иным способом скорость добегания может быть оценена при анализе гидрографов для двух гидрометрических створов на исследуемой реке по скорости прохождения пика половодья (для максимальных скоростей) или характерных уровней [1, 3].

Поступление подземных вод в речную сеть возобновляется в верховьях с окончанием половодья (точка G). Эти воды достигают замыкающего створа в зависимости от скорости добегания, по которой и определяется положение точки H. Нарастание подземного стока происходит по прямой HD. Линия DE отсекает на гидрографе подземный сток после окончания берегового регулирования, и точка D соответствует началу межени.

Аналогично может быть рассчитан подземный сток на гидрографе в период паводков от дождей или оттепелей, если они отмечены на всем протяжении реки.

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ПО МЕТОДИКЕ Н.Н. ВЕРИГИНА

Основные предпосылки: тип режима подпёртый, во время половодья (паводка) может наблюдаться как 1-й, так и 2-й тип стока. Меженная фаза отделяется срезкой по вертикальным прямым (расходы q_n и q_k , рис. 3).

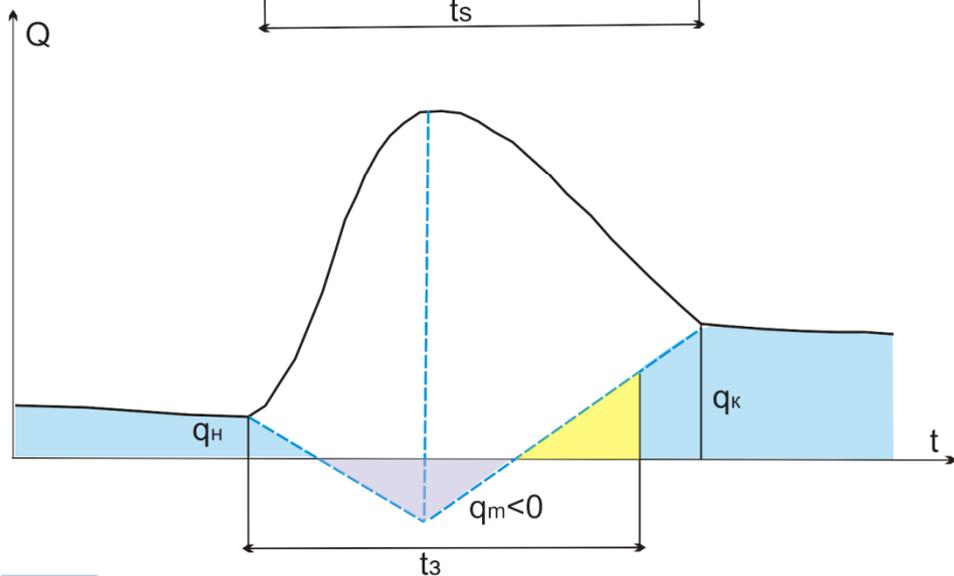
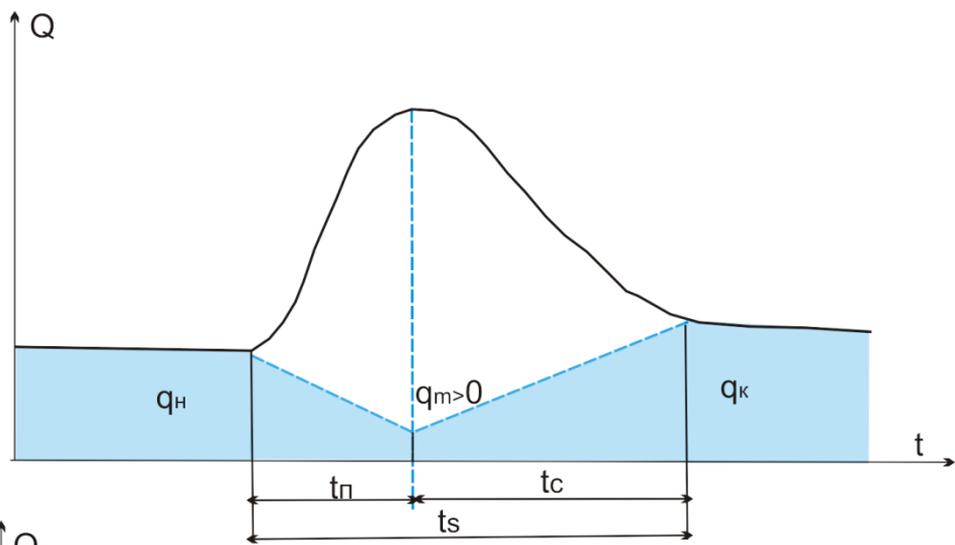
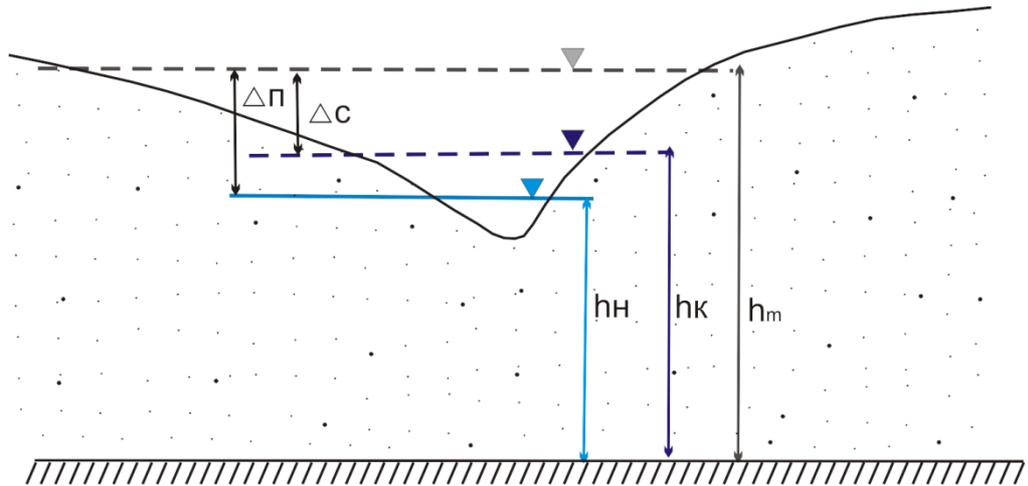
Следует иметь в виду тот факт, что уменьшение подземного питания рек и фильтрация из них в берега во время паводков приводят к подъёму уровня грунтовых вод и накоплению достаточно больших объёмов воды в отложениях, слагающих речные долины. Аккумулированные в этих отложениях запасы воды в конце паводка и после него снова поступают в реку, поэтому послепаводочные расходы реки обычно больше предпаводочных ($\frac{q_n}{q_k} < 1$) [4].

Чем больше снижение подземного (грунтового) стока при паводке и чем больше величины паводочной фильтрации, тем меньше соотношение расходов $\frac{q_n}{q_k}$. Эта основная закономерность маскируется в случаях часто повторяющихся паводков, когда повышенные расходы реки, обусловленные аккумуляцией воды в отложениях, слагающих речные долины, при предыдущем паводке ещё не успевают снизиться к началу последующего. В этих случаях часто $\frac{q_n}{q_k} > 1$, особенно для малых паводков, следующих вскоре после больших [4].

При оценке годового грунтового стока рек, у которых зимняя межень ниже летней, срезка гидрографа в первом приближении производится по наклонной прямой, соединяющей расход предпаводочной межени q_n с расходом послепаводочной межени q_k . Оставшаяся после срезки площадь гидрографа должна быть уменьшена на величину ΔV :

$$\Delta V = 0.5 (q_k - q_n) t_s F(\eta, \xi),$$
$$F(\eta, \xi) = 1 + \frac{4}{3} \left(\frac{M(\eta, \xi)}{\sqrt{\eta}} + \frac{1}{\eta} - 1 \right),$$
$$M(\eta, \xi) = \frac{1}{\beta \sqrt{\eta - 1} - \sqrt{\eta}}; \quad \beta = \frac{\xi}{\eta - 1} + 1,$$





- Грунтовый сток
- Объем воды, потерянный на фильтрацию в берега
- Объем стока, восполненный после фильтрации в берега

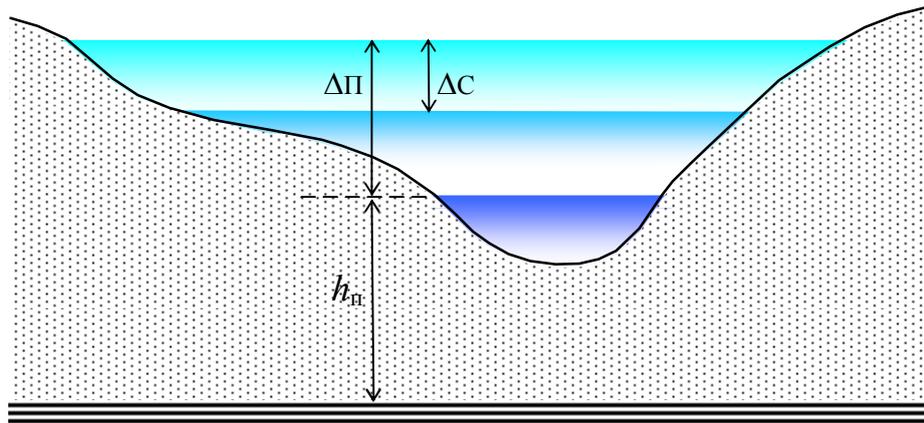


Рис. 3

где $\eta = \frac{t_s}{t_{\Pi}}$; t_s – длительность паводка; t_{Π} – длительность периода подъёма; $\xi = \frac{\alpha_1(2 - \alpha_1)}{1 - \alpha_2^2}$;

$\alpha_1 = \frac{\Delta c}{h_{\Pi} + \Delta c}$, $\alpha_2 = \frac{h_{\Pi}}{h_{\Pi} + \Delta \Pi}$; h_{Π} – глубина или мощность водоносного пласта,

дренируемого рекой (в период зимней межени), Δc , $\Delta \Pi$ – высоты подъёма и спада воды в реке во время паводка (рис. 3).

Приближённо внутригодовое распределение грунтового стока можно оценить, определив грунтовый сток в момент пика паводка q_m :

$$q_m = q_n - (q_k - q_n) M(\xi, \eta)$$

Далее рассматриваются два случая.

Первый случай: $q_m > 0$, во время паводка фильтрация из реки в берега (береговое регулирование) отсутствует. Для оценки распределения подземного стока достаточно провести на гидрографе прямые, соединяющие расходы с расходом пика паводка. Площадь ниже этих прямых определяет собой грунтовый сток (рис. 3).

Второй случай: $q_m < 0$, во время паводка существует береговое регулирование. Для оценки распределения стока здесь необходимо провести на гидрографе прямые, соединяющие отрицательный расход q_m с расходами q_n и q_k , и найти время t_3 , для которого объём воды, потерянной на фильтрацию, примерно равен объёму стока за последующий период. Тогда оставшаяся от этой срезки часть гидрографа будет соответствовать грунтовому стоку (рис. 3).



РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ДЛЯ НИСХОДЯЩЕГО ТИПА РЕЖИМА ПОДЗЕМНОГО СТОКА

Для преимущественно нисходящего типа режима подземного стока положение линии, расчленяющей гидрограф на подземную и поверхностную составляющие, определяется на основе анализа данных по режиму подземного стока из водоносного горизонта, воды которого принимают участие в питании реки. Наиболее точные результаты при этом могут быть получены, если использовать аналитический метод определения подземного стока по данным о меженном стоке реки и режиме родникового стока. Метод предложен Ф. А. Макаренко, согласно которому родниковый сток характеризуется суммарным дебитом «опорных» родников или типовыми репрезентативными отдельными родниками и отражает динамику подземного стока из гидравлически несвязанных водоносных горизонтов [3].

Расчёт подземного стока производится по формуле:

$$Q_{\text{подз}} = qK_1 + \dots + qK_n,$$

где $Q_{\text{подз}}$ – подземный сток за данный промежуток времени, q – единичный минимальный меженный расход, принимаемый за меру подземного питания реки, $K_1 \dots K_n$ – коэффициенты (месячные, декадные, суточные) изменения подземного стока в реку, определяемые по режиму родников. Эти коэффициенты характеризуют отношение типичного или основного для данного бассейна среднемесячного дебита Q_i к минимальному в году среднемесячному дебиту этого же родника Q_{min} .

Тогда $K_{\text{min}} = 1$; $K_1 = Q_1 / Q_{\text{min}}$; $K_2 = Q_2 / Q_{\text{min}}$; ... $K_{12} = Q_{12} / Q_{\text{min}} > 1$,

где Q_1, Q_2, \dots, Q_{12} – среднемесячные дебиты родника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: Изд-во Московского университета, 1966
2. Шестаков В. М., Поздняков С. П. Геогидрология. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003
3. Попов О. В. Подземное питание рек. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1968
4. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород. Под ред. Веригина Н. Н. М.: Недра, 1977