

Г. С. ВАРТАНЯН

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАПОРНЫХ И БЕЗНАПОРНЫХ ВОД
ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Вопрос о формах сосуществования напорных и безнапорных потоков представляет интерес, в первую очередь, при освоении большой группы месторождений минеральных вод, связанных с трещинными магматогенно-метаморфическими массивами. Известно, что в этих случаях к верхней элювиальной, гидравлически сравнительно однородной части разреза ($K \cong \text{const}$ по простиранию) бывают приурочены пресные грунтовые потоки и лишь локально, в непосредственной близости от зон тектонических нарушений, развиты поступающие из глубин напорные минеральные воды.

Рассмотрим условия, определяющие проявление глубинных минеральных вод вблизи дневной поверхности.

Если допустить наличие некоторого тектонического канала, по которому движутся снизу вверх напорные воды, то очевидно, будет справедливым записать значения напоров в двух сечениях этого канала, удаленных друг от друга на величину $z = z_2 - z_1$ (см. рис. 1), как

$$\begin{aligned} H_1 &= h_1 + z_1 \text{ и} \\ H_2 &= h_2 + z_2 \end{aligned}$$

где z_1 и z_2 — высотные координаты рассматриваемых плоскостей;

h_1 и h_2 — пьезометрические высоты;

H_1 и H_2 — напоры в точках с координатами z_1 и z_2 .

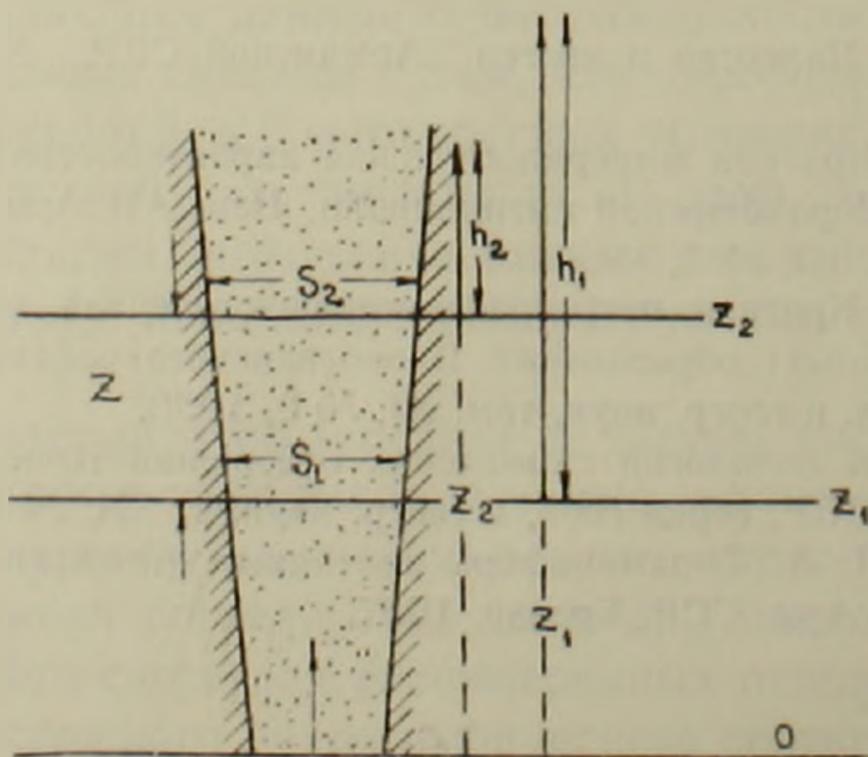


Рис. 1. Схема движения напорного потока подземных вод восходящего по вертикальному каналу.

Тогда градиент напоров можно записать в следующем виде:

$$J = \frac{dH}{dz} = \frac{(h_1 - h_2) - (z_2 - z_1)}{z_2 - z_1};$$

$$J = \frac{h_1 - h_2}{z} - 1. \quad (1)$$

А расход Q по тектоническому каналу с сечением „ S “ составит

$$Q = \frac{h_1 - z - h_2}{\frac{z}{kS}}. \quad (2)$$

Приведенное уравнение справедливо для случая, когда сечение (S) водовыводящего канала постоянно. В случае, когда сечение переменное, уравнение (2) примет вид:

$$Q = \frac{h_1 - z - h_2}{\frac{z}{kS_{cp}(z)}} \quad (3)$$

где $S_{cp}(z) = \frac{S_1 + S_2}{2}$ — средняя площадь сечения водовыводящего канала на участке длиной $z = z_2 - z_1$ с начальным и конечными сечениями S_1 и S_2 .

Заменяя коэффициент фильтрации (k) на коэффициент проницаемости (c) получим:

$$Q = \frac{\gamma (h_1 - z - h_2)}{\frac{\mu z}{cS_{cp}(z)}} \quad (4)$$

где μ — вязкость фильтрующейся жидкости;

γ — объемный вес.

Принимая во внимание, что $h\gamma = P$ и $z\gamma = P_{гидр.}$, запишем уравнение (4), как

$$Q = \frac{P_1 - P_{гидр.} - P_2}{\frac{\mu z}{cS_{cp}(z)}}.$$

Знаменатель $\frac{\mu z}{cS_{cp}(z)}$ характеризует фильтрационное сопротивление R .

Тогда условия движения восходящих по разлому напорных вод определяются уравнением

$$Q = \frac{P_1 - P_{гидр.} - P_2}{R} \quad (5)$$

где P_1 и P_2 — давление восходящего потока на плоскостях z_1 и z_2 ;
 $P_{гидр.}$ — гидравлическое давление столба воды высотой $z = z_2 - z_1$ на плоскость z_1 .

Отсюда следует, что поступление глубинных потоков в горизонт грунтовых вод контролируется величиной гидростатического давления вод грунтового горизонта на зону разгрузки восходящих потоков.

То есть:

$$Q_{\text{глуб}} = \varphi \left(\frac{P_{\text{грунт}}}{P_{\text{глуб}}} \right) \text{ или} \quad (6)$$

$$Q_{\text{глуб}} = f \left(\frac{h_{\text{грунт}}}{h_{\text{глуб}}} \right) \quad (7)$$

$$\text{и } Q_{\text{глуб}} \rightarrow 0 \text{ при } P_{\text{грунт}} \rightarrow P_{\text{глуб}}$$

$$\text{или } Q_{\text{глуб}} \rightarrow 0 \text{ при } h_{\text{грунт}} \rightarrow h_{\text{глуб}}.$$

Следовательно, при наличии равенства $P_{\text{грунт}} = P_{\text{глуб}}$, (где $P_{\text{глуб}}$ — давление восходящего потока в месте внедрения его в горизонт грунтовых вод; $P_{\text{грунт}}$ — гидростатическое давление на зону разгрузки глубинных вод), глубинные воды будут полностью экранироваться горизонтом грунтовых вод. Ввиду того, что в большинстве случаев, в горизонте грунтовых вод имеется существенный сток, — противодействующий столб, необходимый для экранирования восходящих вод, не сохраняется и это обеспечивает постоянную разгрузку (в соответствии с существующим балансом гидродинамических параметров) минеральных вод в горизонт с безнапорными потоками.

Как показывают данные проведенных автором физического и математического моделирования, внедрение сосредоточенных глубинных потоков закономерно приводит к формированию среди грун-

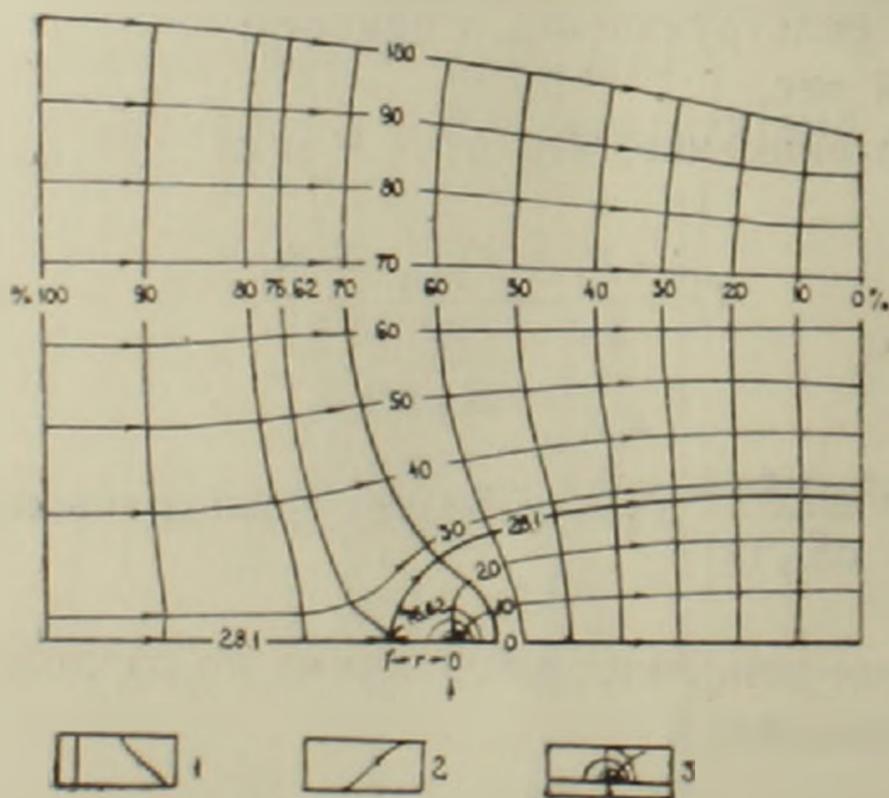


Рис. 2. Гидродинамическая сетка взаимодействия грунтовых и глубинных вод (по данным решения на ЭГДА-9/90). 1 — линии равных напоров; 2 — линии токов; 3 — место внедрения глубинных вод в зону развития грунтовых потоков.

товых вод устойчивого во времени гидродинамического купола (см. рис. 2), венчающего гидрогеологически активное тектоническое нарушение.

Разгрузка восходящих вод сопровождается резким падением градиентов напоров минерального потока, что вызвано, в первую очередь существенным увеличением его сечения. Вместе с этим, выше зоны разгрузки глубинного потока отмечается обусловленное подпором падение градиентов напоров и в грунтовом водоносном горизонте. Причем, для этой части фиксируется выполаживание зеркала грунтовых вод. Такое падение градиентов напоров в грунтовом и глубинном потоках приводит к тому, что в некоторой точке горизонтального пласта величины их напоров выравниваются. То есть, глубинные воды, растекаясь в безнапорном водоносном горизонте, в целом, наследуют направление движения грунтового потока, однако меньшая часть, оттесняя от тектонического нарушения пресные воды, проникает внутрь пласта против их движения на некоторое расстояние r , зависящее от соотношения $\frac{H_{\text{грунт}}}{H_{\text{глуб}}}$. Причем, в крайней точке распространения глубинных вод соотношение напоров грунтового и восходящего потоков должно характеризоваться уравнением

$$\frac{dH}{dx} = 0. \quad (8)$$

На полученной при решении на ЭГДА гидродинамической сетке приведенному уравнению отвечает точка «i». Очевидно, что в окрестностях данной точки скорости движения подземных вод должны быть наименьшими. В самой же точке «i» суммарная скорость равна нулю.

Серия решений показала, что при постоянном значении величины напора глубинных потоков ($H_{\text{глуб}} = \text{const}$) и переменных мощностях грунтового потока, условие (8) в каждом отдельном случае удовлетворяется на различном удалении от зоны разгрузки восходящих по нарушению вод. То есть, между мощностью грунтового потока над зоной разгрузки глубинных вод и распространением последних выше зоны разгрузки, существует тесная связь (см. рис. 3а). Обычно при этом истинное плановое положение гидрогеологически активного тектонического нарушения бывает замаскировано.

Кроме того, отчетливо прослеживается зависимость величины растекания глубинных вод r от градиентов напоров, установившихся в грунтовом потоке после внедрения восходящих вод. Так, если рассматривать взаимодействие глубинных вод с грунтовым потоком, мощность которого над зоной разгрузки — величина постоянная ($H_{\text{грунт}} = \text{const}$), а градиенты выше зоны разгрузки меняются $J \neq \text{const}$, то можно установить, что величина r сокращается с ростом градиентов напоров. Принимая (в нашем случае при $J = 0,100$) величину растекания $r_{0,1}$ за единицу, фиксируем, что при градиенте $J = 0,05$ величина продвижения напорных вод против

движения грунтового потока должна составить 2,98 $r_{0,1}$ (см. рис. 3б).

Интересно оценить величину r по сравнению с мощностью горизонта грунтовых вод. В рассмотренном нами случае, при

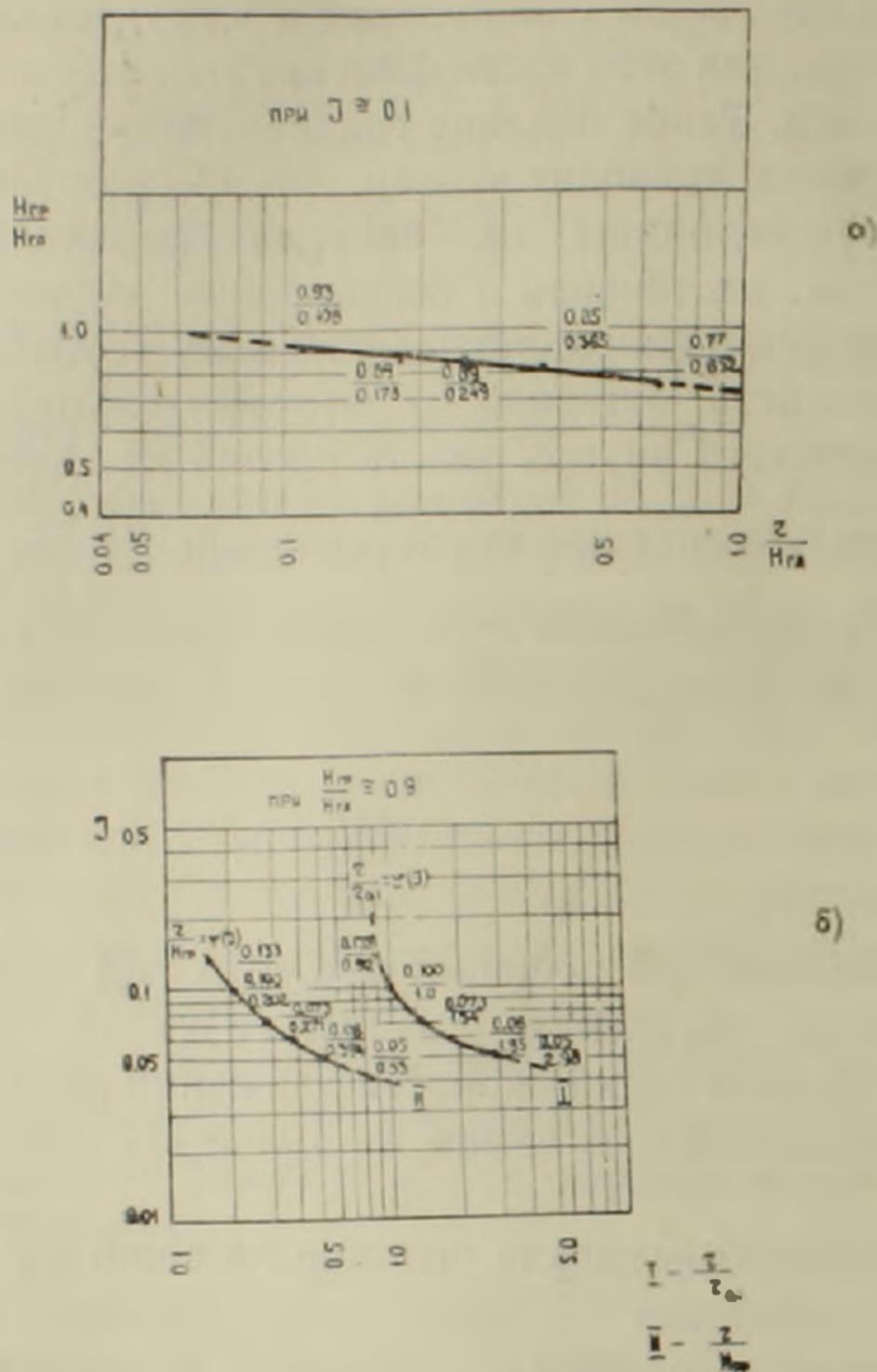


Рис. 3. Графики зависимости величин $\frac{r}{H_{гр}}$ от безразмерной мощности горизонта грунтовых вод (а) и $\frac{r}{H_{гр}}$ от гидравлических уклонов (б).

$\frac{H_{грунт}}{H_{глуб}} = \text{const} \approx 0,9$ величина r менялась от 0,16 $H_{грунт}$ до 0,53 $H_{грунт}$

при градиентах напора 0,133 и 0,05 соответственно. Очевидно, что в природных условиях, при существенно более низких градиентах напоров в горизонте грунтовых вод (нежели это было получено в решениях) проникновение минеральных вод будет очень значительным.

Можно полагать, что с уменьшением отношения $\frac{H_{грунт}}{H_{глуб}}$ абсолютная величина r также должна возрастать, причем это будет сопровождаться также ростом высоты купола минеральных вод, вплоть до прорыва минеральных вод на поверхность земли. Другим следствием

взаимодействия глубинных потоков и вод грунтового горизонта является сильное изгибание линий равных напоров в окрестностях зоны разгрузки восходящих вод (см. рис. 2).

В результате бурения скважин на подобных участках неизбежно должно фиксироваться повышение напоров, хотя нарушение, по которому происходит разгрузка глубинных вод, и не вскрыто. Лишь на значительном удалении от зоны разгрузки глубинных вод в грунтовой потоке вновь удовлетворяется предпосылка Дюпюи о постоянстве напоров*.

В соответствии с деформацией линий равных напоров, при взаимодействии грунтовых и глубинных вод изгибаются и линии токов. Так, вблизи точки «I» линии токов грунтовых и глубинных вод преломляются, выгибаясь кверху и следуют вдоль кривой, выходящей из точки «I». Эта линия тока, по существу, играет роль непроницаемой границы (без учета процессов фильтрационной диффузии), по обе стороны которой существуют самостоятельные, несмешивающиеся потоки грунтовых (выше границы) и глубинных (ниже границы) вод, что находится в хорошем согласии с теорией источников и стоков (Милович, 1946; Чарный, 1963; Милн-Томсон, 1964).

В части пласта, располагающейся по течению ниже тектонического нарушения, где на горизонтальный поток уже не влияет зона разгрузки глубинных вод, граница раздела восходящих и грунтовых потоков устанавливается на предельно высоких (для данных $\frac{H_{\text{грунт}}}{H_{\text{глуб}}}$) отметках и далее прослеживается ее горизонтальный участок. Очевидно, в данном месте и далее мощность водоносного горизонта будет делиться на части, кратные расходам пресных и минеральных вод, что позволяет оценить естественные ресурсы минеральных вод, разгружающихся при существующих соотношениях напоров $\left(\frac{H_{\text{грунт}}}{H_{\text{глуб}}}\right)$, по уравнению:

$$Q_{\text{глуб}} = \frac{Q_{\text{грунт}} (B - b)}{b}$$

где: b — мощность потока пресных вод;

B — мощность грунтового водоносного горизонта;

$Q_{\text{грунт}}$ — расход потока пресных вод;

$Q_{\text{глуб}}$ — расход потока минеральных вод.

Полученные решения позволяют установить некоторые особенности взаимодействия глубинных и грунтовых потоков, что следует учитывать при выборе схемы разведки месторождений минеральных вод и особенно, связанных с трещинными магматогенно-метаморфи-

* Рассматривается случай, когда зона разгрузки глубинных вод ориентирована вкрест движения грунтовых вод.

ческими массивами. Например, в таких случаях представляется целесообразным бурение небольшой сети поисково-разведочных скважин, забои которых проектируются на горизонтальную плоскость с единой, произвольно выбранной, абсолютной отметкой. Уже при построении карты гидроизогипс, по сгущению линий равных напоров удастся выявить ориентировочное местоположение зоны разгрузки напорных вод.

Кроме того, в процессе проходки каждой скважины необходимо вести наблюдение за интенсивностью прироста напоров воды: чем ближе данная скважина к зоне разгрузки напорных вод, тем выше прирост напора на метр проходки. Эти наблюдения следует корректировать с помощью методики расшифровки структурно-гидродинамических условий по данным массовых глубинных опробований скважин (Вартанян, 1965).

ВСЕГИНГЕО

Поступила 10.VIII.1967.

Գ. Ս. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ՃՆՇՈՒՄՆԱՅԻՆ ԵՎ ԱՆՃՆՇՈՒՄ ՋՐԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԸ ԵՐԿՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՄՈՏ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում բերվում է տեկտոնական խախտումով բարձրացող ճնշումային ջրի բեռնաթափման բանաձևը ճեղքավոր մասսիվների վերին մասերի գրունտային հոսքերի զոնայում, ըստ որի՝

$$Q_{բր.} = J \left(\frac{P_{գր.}}{P_{բր.}} \right)$$

ուր՝ $Q_{բր.}$ — տեկտոնական խախտվածքով բարձրացող ճնշումային ջրի ծախսը.

$P_{գր.}$ — գրունտային հոսքի ճնշումը ճնշումային ջրի բեռնաթափման զոնայի վրա.

$P_{բր.}$ — բարձրացող ճնշումային հոսքի ճնշումը գրունտային ջրերի տարածման զոնային համկցվելու մասում:

Ֆիզիկական և մաթեմատիկական մոդելացման հիման վրա ցույց է տրված, որ գրունտային հորիզոնում ճնշումային կենտրոնացված հոսքերի բեռնաթափման ժամանակ անճնշումային հոսքերի մեջ օրինաչափորեն կազմավորվում է ճնշումային ջրերի հիդրոդինամիկ գմբեթ:

Այդ հանգամանքը հատուկ նշանակություն է ստանում ճեղքավոր մասիվներում հանքային ջրերի ուսումնասիրության ժամանակ, ուր կտրվածքի վերին մասերում սերտորեն համակցվում են բարձրացող հանքային և միներալիզացիայից զուրկ գրունտային հոսքերը:

Բարձրացող ջրերի բեռնաթափման զոնայի մոտակայքում ճնշումների տեղաբաշխման օրինաչափությունների ուսումնասիրության արդյունքները

Հնարավորություն են ընձեռնում առաջադրելու որոնողա-հետախուզական որոշ
շափանիչներ, որոնք կիրառելի են ճեղքավոր մասսիվներում հանքային ջրերի
հանքավայրերի իրացման ժամանակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Вартанян Г. С. К вопросу о применении методики массовых глубинных гидро-
химических опробований скважин для расшифровки структуры месторож-
дений минеральных вод. БМОИП, отд. геол., т. XI, вып. 2, 1965
- Милн-Томсон Л. М. Теоретическая гидродинамика. Изд. «Мир», М., 1964.
- Милович А. Я. Гидромеханика. Госэнергоиздат, 1946.
- Чарный И. А. Подземная гидрогазодинамика. Гостоптехиздат, М., 1963