

Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН

## ОБ ОДНОМ ВОЗМОЖНОМ ПУТИ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным | 2 VI 1953)

Среди различных путей, которыми может воспользоваться вода, покидающая водохранилище при фильтрации из него, должен быть указан один путь, который заслуживает внимания благодаря своей необычности.

Предположим, что чаша водохранилища сложена из плотных, практически водонепроницаемых пород 1 (рис. 1), причем подземный рельеф этой породы таков, что гребень везде поднимается выше горизонта воды в водохранилище. Естественно полагать, что в этом случае фильтрация воды из чаши невозможна. Между тем это не всегда так.

Здесь уместно вспомнить о капиллярных сифонах, известных из механики грунтов. Они могут создать в известных условиях пути фильтрации воды через грунты, расположенные над депрессионными поверхностями. На возможность просачивания воды через проницаемый материал, расположенный над непроницаемым ядром насыпи, и напитывание водой части плотины, расположенной ниже водонепроницаемой плотины, указывал еще Л. Н. Бернацкий (1).

Экспериментальные исследования устойчивости откосов, подвергающихся действию фильтрационного потока, проведенные в Голландии (7) над песчаными моделями плотин, показали, что со стороны нижнего бьефа в области, расположенной над депрессионной линией, происходит заметная фильтрация и что таким образом грунт в зоне капиллярного поднятия работает как сифон.

Такое же явление может происходить и в случае земляных плотин с водонепроницаемым ядром. Если верхняя отметка ядра плотины возвышается над уровнем воды в верхнем бьефе менее, чем высота капиллярного поднятия в материале самой земляной плотины, то вода проходит по капиллярной системе грунта над водонепроницаемым ядром так, как если бы над ядром был сифон (2). В качестве примера можно указать на утечку воды из канала Берлин — Штеттин, где на одном участке, длиной 19 км, водонепроницаемое ядро дамбы возвышалось над уровнем воды в канале всего на 0,3 м. Утечка воды из канала вследствие явления капиллярного сифона составила 34 л/сек. После того как высота водонепроницаемого ядра была увеличена на 0,4 м, утечка воды снизилась до 7,5 л/сек (8). Поднятие непроницаемого ядра вызывает такое же уменьшение фильтрации при капиллярном сифонировании, как углубление шпунта на уменьшение фильтрации под плотинами.

На рис. 1 пласт 3 оставлен без штриховки. Допустим, что он является тем же средним суглинком, как и расположенный над ним пласт 4. Ясно что в этом случае возможно поднятие воды по пласту 3 + 4 на

высоту капиллярного поднятия  $УКП$ , перелив ее через гребень водопора и переход на противоположную чаше водохранилища сторону склона. Здесь пласт суглинка  $3 + 4$  играет роль подземного сифона.

Гораздо более своеобразен другой путь фильтрации. Предположим, что незаштрихованный на рисунке пласт  $3$  является таким же крупнообломочным галечником, как и расположенный ниже него пласт  $2$ . По общепринятому мнению, представленное на рисунке геологическое строение чаши водохранилища исключает возможность фильтрации воды в грунт, так как окружающие чашу водопорные породы поднимаются выше уровня воды в чаше, а сифонный эффект, в силу отсутствия капил-

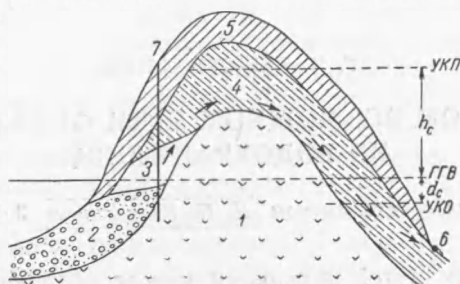


Рис. 1

лярного поднятия в галечнике, не может иметь места. Действительно, буровая скважина  $7$ , пробуренная над указанным пластом, обнаруживает вначале сухой галечник и лишь на некоторой глубине водоносный галечник; уровень грунтовых вод в галечнике  $ГГВ$  совпадает с горизонтом воды в водохранилище.

Несмотря на это, если пласт галечника прикрыт достаточно плотной породой, например пластом тяжелой глины  $5$ , которую практически можно рассматривать как водо- и воздухо непроницаемый слой, то оказывается, что пласт сухого галечника, расположенный над уровнем грунтовых вод, может служить путем для проникновения воды, оставаясь, впрочем, сухим.

Объяснение этому парадоксальному явлению следует искать в условиях равновесия капиллярных систем с внешней средой <sup>(6)</sup>. Если слой тяжелой глины  $5$ , находящийся над пластами галечника  $2 + 3$  и суглинка  $4$ , изолирует расположенное под ней пространство от сообщения с внешней атмосферой, то в этом случае  $4$  может рассматриваться как капиллярная система, находящаяся над замкнутой камерой  $2 + 3$ , в которой имеется свободная поверхность жидкости с уровнем  $ГГВ$ . Следствием этого является слияние пьезометрического уровня капиллярной системы  $4$  с указанным уровнем  $ГГВ$ . Отсюда вытекает, что условия, в которых находится капиллярная вода, заполняющая поры пласта суглинка  $4$ , ничем не отличаются от условий равновесия воды в рассмотренном ранее случае, когда незаштрихованная область  $3$  являлась суглинком и когда могло иметь место явление капиллярного сифона.

Вследствие сказанного, в пласте суглинка  $4$  возникнет ток воды, как это показано стрелками. Убыль воды в пласте  $4$  будет восполняться путем испарения ее над поверхностью грунтовых вод в слое сухого галечника  $3$ , перемещения ее в парообразном состоянии к нижней поверхности суглинка  $4$ , конденсации ее на этой поверхности и дальнейшего перемещения по пласту  $4$  в форме капиллярной воды.

Так как пьезометрический уровень капиллярной системы  $4$  определяется положением горизонта грунтовых вод  $ГГВ$ , то ясно, что в области, расположенной ниже этой линии, будет наблюдаться явление капиллярного опирания <sup>(4)</sup>. Максимальная глубина капиллярного опирания  $d_c$  отвечает уровню  $УКО$ .

Точно так же, как по мере приближения к УКП снизу в более крупных порах все чаще будет встречаться воздух и таким образом разрываться поверхность вогнутых менисков, так по мере приближения к УКО сверху в более крупных порах все чаще будет встречаться гравитационная вода и таким образом разрываться поверхность выпуклых менисков (5).

В области, расположенной ниже горизонта УКО, вода не может находиться в равновесии и будет перемещаться вниз под действием гравитационных сил. Она может выйти на поверхность и образовать источник в точке б. Таким образом, воды источника б имеют фильтрационное происхождение, несмотря на то, что геологические условия района, казалось бы, исключают эту возможность.

Для подсчета количества воды, которое может таким образом утекать из водохранилища, допустим, что пласт проницаемого легкого суглинки, мощностью 1 м, представляет собой сифон, поднимающийся над водонепроницаемыми породами, и имеет внизу выход для проникающих через него вод на отметке 50 м ниже уровня воды в водохранилище. Длину фильтрационного пути примем равной 100 м, коэффициент фильтрации суглинки  $2 \cdot 10^{-4}$  см/сек. Тогда утечка воды на протяжении 1 км составит в 1 сек.

$$Q = kit \cdot F = 2 \times 10^{-4} \times \frac{50}{100} \times 1 \times 100000 \times 100 = 1000 \text{ см}^3/\text{сек} = \\ \cong 30000 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для борьбы с происходящей описанным путем фильтрацией воды из водохранилища должен быть осуществлен «воздушный дренаж» или вентиляция пласта галечника з. Для этого должны быть пройдены шурфы через слой тяжелой глины 5 и тем самым обеспечена связь между воздухом, заполняющим пустоты галечника, и внешней атмосферой.

Заметим, что действие вентиляции должно быть достаточно сильным, чтобы устранить возможность образования насыщенного пара в пустотах галечника. Как известно из работ А. Ф. Лебедева (3), в почвах легко создаются условия для образования абсолютно влажного воздуха. Для этого достаточно, чтобы содержание воды в почве было больше, чем это соответствует ее максимальной гигроскопичности, при которой относительная влажность почвенного воздуха составляет 100%. Так как естественная влажность сухого галечника, расположенного над горизонтом грунтовых вод, как бы она ни была мала, соответствует максимальной гигроскопичности, то условия благоприятствуют образованию в пустотах галечника абсолютно влажного воздуха. Но, с другой стороны, еще никем не указано, что эти выводы могут быть применены к галечным отложениям.

Другим важным следствием фильтрации этого рода из водохранилищ может быть образование оползней, развивающихся по склону, казалось бы, не имеющему питания грунтовыми водами вследствие отсутствия водоносных горизонтов. Причину образования оползней в таких случаях обычно ищут в действии атмосферных вод, а для борьбы с ними осуществляют сбор и отвод поверхностных вод. Из изложенного видно, что действительная причина оползней в этих случаях — сифонная фильтрация из водохранилища — требует применения совершенно иных сооружений.

Институт геологических наук  
Академии наук Арм.ССР

Поступило  
23 II 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. Н. Бернацкий, Прикладная геотехника, 1935. <sup>2</sup> Н. М. Герсеванов, Д. Е. Польшин, Теоретические основы механики грунтов и их практические применения, 1948. <sup>3</sup> А. Ф. Лебедев, Почвенные и грунтовые воды, изд. АН СССР, 1935. <sup>4</sup> Г. И. Тер-Степанян, Докл. АН Арм.ССР, 12 (4), 97 (1950). <sup>5</sup> Г. И. Тер-Степанян, там же, 13 (1), 3 (1951). <sup>6</sup> Г. И. Тер-Степанян, Изв. АН Арм.ССР, отд. техн. и ест. наук, 15 (3), 11 (1952). <sup>7</sup> Broekman, G. H. van Mourik, Buisman, A. S. Keverling, Proc. Internference on Soil mechan. and Found. Eng., 1, G-5, Cambridge, Mass., 150 (1936). <sup>8</sup> K. Terzaghi, R. Peck, Soil Mechanics in Engineering Practice, N. Y., 1948.