Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXII, вып. 2, 1971 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩА КРОНОЦКОЙ ГЭС

В. И. Давидович, *С. Я. Жуковский*, *Н. П. Красильникова*

Река Кроноцкая расположена на восточном побережье Камчатки к северо-востоку от Петропавловска-на-Камчатке. Протяженность ее около 45 *км*, общее падение 375 *м*. На своем пути от озера Кроноцкого до Кроноцкого залива река пересекает две различные как по рельефу, так и по геологическому строению области: в верхнем течении — Восточную вулканическую область, в нижнем — Кроноцкую приморскую равнину.

В пределах горной части долина реки молодая, с невыработанным продольным профилем, порожистая. В верховьях она пересекает слившиеся подножия вулканов; рельеф образован неровными поверхностями лавовых потоков, шлаковыми конусами, пролювиальными шлейфами и слившимися конусами выноса. В восточной горной области длина реки около 20 *км* и падение 350 *м*. Этот участок наиболее крутого падения намечают использовать для гидроэнергетического строительства.

В пределах приморской равнины долина р. Кроноцкой широкая, плоская, с хорошо развитыми террасами. Русло р. Кроноцкой имеет ширину от 5 *м* в верховьях до 500 *м* в устье; глубина потока, соответственно, изменяется от 0,7 до 3 *м*, уклон от 0,024 до 0,005 и скорость течения от 7 до 1,5 *м/сек*. Среднегодовой расход воды в истоке 40 $м^3/сек$.

Для геологического строения долины р. Кроноцкой характерны эффузивные образования четвертичного возраста, перекрытые мощной толщей рыхлых отложений (преимущественно вулканогенно-пролювиальных). Эффузивные породы представлены отдельными лавовыми потоками, в составе которых преобладают базальты и андезитобазальты. Лавовые потоки, мощность которых колеблется от 5—10 до 80 *м*, разделяются рыхлыми вулканическими песками и слабоуплотненными туфами. Залегание пород близко к горизонтальному.

Пролювиальные отложения на неровной кровле вулканических пород состоят из крупноглыбовых, валунных и галечных образований с прослоями песков, пепла и шлаков. Мощность рыхлых образований изменяется от нескольких метров до 80 *м*. Русло р. Кроноцкой, а также ее террасы сложены маломощным аллювием, состав которого близок к составу пролювиальных отложений.

Гидрогеологические условия района неблагоприятны для строительства напорных гидротехнических сооружений прежде всего из-за низкого положения горизонта подземных вод. В связи с этим необходимо было разработать вопрос о фильтрационных потерях из водохранилища.

В берегах р. Кроноцкой уровень подземных вод на 30—80 *м* ниже дневной поверхности и мало повышается в сторону окаймляющих долину вулканов. Рыхлые образования береговых склонов большой мощности и

подстилающие их вулканические породы не обводнены. На дне долины подземные воды залегают на 5—10,5 *м* ниже уровня воды в реке, находящейся в подвешенном состоянии.

Пониженное положение горизонта подземных вод в пределах горной области связано с влиянием местного глубокого базиса дренажа. Последний приурочен к стыку крутого и пологого падения реки, куда в обход береговых склонов кратчайшим путем вдоль русла направляется подземный поток. В этом месте подземные воды, отсутствующие выше по реке, имеют обильные выходы, в результате чего резко увеличивается расход р. Кроноцкой. Региональным базисом дренажа единого водоносного горизонта, содержащегося в эффузивных породах и рыхлых вулканогенных образованиях долины, является Кроноцкий залив Тихого океана. Уклон подземного потока переменный и изменяется от 0,03 в пределах наиболее крутого падения реки до 0,011 в месте выполаживания продольного профиля. В равнинной части он составляет 0,0075.

Другой важной особенностью гидрогеологии района является сильная, хотя и неоднородная водопроницаемость коренных пород и рыхлых отложений. Водопроницаемость эффузивной толщи определяется своеобразием состава вулканических пород и их трещиноватостью, связанной со сжатием и растрескиванием лав при остывании. В кровле и подошве лавового потока распространены пористые и кавернозные шлаковые, брекчиевые и глыбовые лавы, пористость которых местами достигает 45—50%. Среди базальтов центральной части имеются интенсивно трещиноватые разности пород. Степень трещиноватости и пустотности пород непостоянна как по площади, так и в разрезе. При нагнетаниях воды в скважины были выявлены породы с сильной водопроницаемостью и удельным водопоглощением от 10 до 100 *л/мин* и иногда более 200 *л/мин*. Выдержанного водоупора в пределах изученной глубины до отметки 300 обнаружено не было. Значительная водопроницаемость пролювиальных образований связана с преобладанием в их составе крупнообломочного материала. По данным наливов в горные выработки, коэффициент фильтрации пород для наиболее водопроницаемых их разностей в разрезе колеблется от 51 до 149 *м/сутки*. Плотность сложения почвенно-пирокластического слоя, залегающего на пролювии, мала; пористость достигает 80%; водоудерживающая способность незначительна. Аллювиальные отложения, слагающие пойменную и надпойменную террасы долины р. Кроноцкой, маломощны и по составу близки к пролювию.

Низкое положение горизонта подземных вод и большая водопроницаемость вулканических пород различного генезиса обусловливают своеобразие гидрографической сети. Здесь распространены исключительно так называемые «сухие речки», суходолы, в которых сток наблюдается лишь эпизодически в периоды весеннего снеготаяния и дождей с большой интенсивностью. В этих условиях водоносный горизонт питается за счет метеорных осадков и поглощения речного потока. Существенную роль, несомненно, играют воды Кроноцкого озера, поступающие в подземный поток через борта озера, сложенного хорошо фильтрующими вулканическими образованиями.

Из намечаемых створов *А*, *Б*, *В* наиболее полные данные о геологическом строении и гидрогеологических условиях имеются по створу *Б*, хотя они еще далеко не достаточны для надежного анализа вопросов фильтрации при строительстве плотины в этом створе. Плановая характеристика проектируемого водохранилища представлена на рис. 1.

Разрез долины р. Кроноцкой в створе *Б* показан на рис. 2, из которого видно, что коренные породы здесь представлены базальтами, андезито-базальтами и их туфами, на которых залегает толща валунно-галеч-

ных отложений мощностью 50—70 *м*, весьма неоднородных по гранулометрическому составу.

На данной стадии изученности установить закономерности изменения водопроницаемости пород в створе *Б* не удалось. В целом водопроницаемость толщи пород, которая рассматривалась как однородная с коэффициентом фильтрации 100 *м/сутки*, высока. Как видно из рис. 2, подземный поток в створе *Б* имеет поперечный уклон к р. Кроноцкой, на левом берегу составляет примерно 0,0063, по правому берегу еще не установлен. Река Кроноцкая в створе *Б* подвешена; уровень грунтовых вод располагается ниже дна реки.

Предполагаемые потери воды из проектируемого водохранилища следующие: а) на испарение — зависят от площади зеркала водохранилища, силы и направления господствующего ветра, температуры и других факторов *; б) на фильтрацию через берега и дно водохранилища — зависят от характера фильтрации и процесса



Рис. 1. Контур водохранилища при плотине на створе *Б*. *375* — подпорная отметка

смыкания фильтрующегося потока с подземными водами; в) на фильтрацию в толщу пород под плотиною и в обход плеч плотины—зависят от конструкции плотины, наличия и размеров противофильтрационных устройств (завеса, диафрагма, зуб и т. п.), а также формы и размера врезки плотины в берега; г) на фильтрацию через тело плотины, зависящую от ее конструкции (каменно-набросная с суглинистым экраном).

Естественно, что размеры потерь на фильтрацию зависят также от разности горизонтов бьефов и водопроницаемости пород, через которые происходит фильтрация. Потери на фильтрацию под телом плотины, в обход ее плеч и через тело плотины в известной мере можно регулировать устройством противофильтрационной завесы достаточной глубины или завесы в берегах. Потери на фильтрацию через тело плотины могут быть минимальными при соответствующих материале и размерах экрана или диафрагмы. Для оценки фильтрации через берега и дно водохранилища важно знать, как будет происходить этот процесс. С одной стороны, он может протекать подобно фильтрации через откосы и дно каналов при достаточно глубоком залегании подземных вод [1]. С другой стороны, этот процесс может происходить иначе: вода, фильтрующаяся через берега и дно водохранилища, насыщает сухую породу, распространяясь в стороны. Наблюдается неустановившийся режим, при котором фильтрационные потери с течением времени уменьшаются [2, 3].

---

* Эти потери в настоящей работе не анализируются.

В первом случае, когда берега водохранилища не насыщаются фильтрационным потоком и фильтрация практически вертикальная, оценивать потери целесообразно методом электрического моделирования процесса. Модели необходимо выполнять в соответствии с природной гидрогеологической обстановкой, контуром водохранилища и подпорным горизонтом в нем.

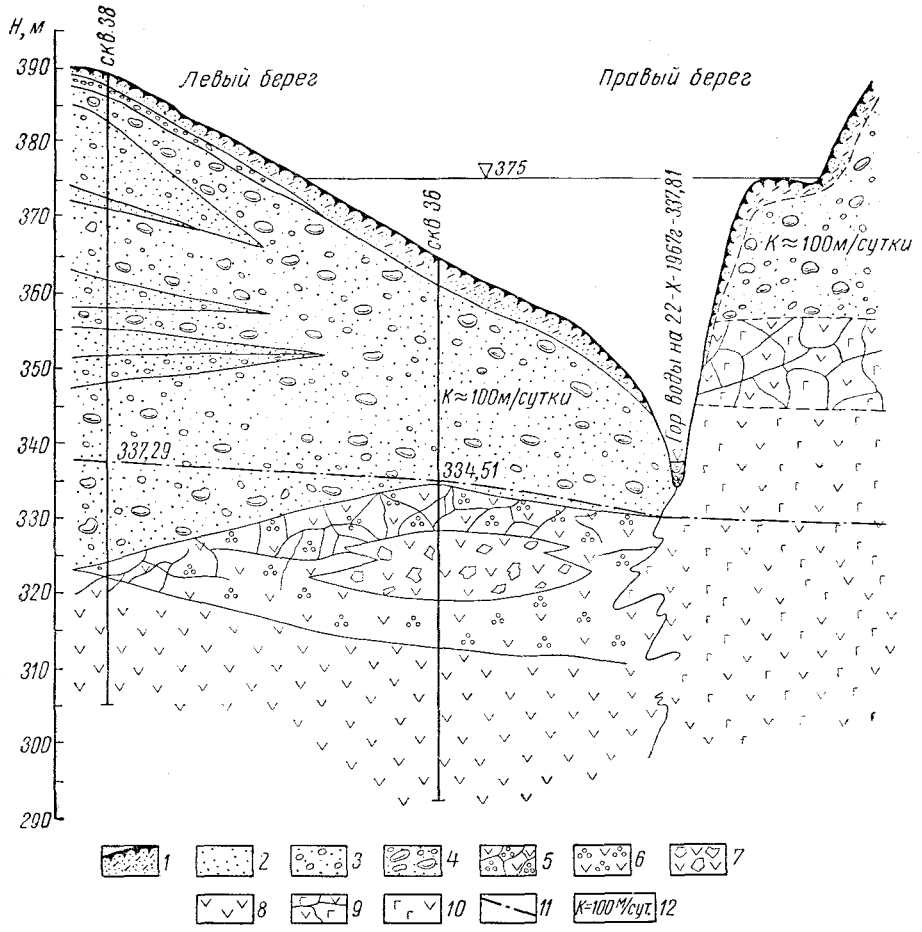


Рис. 2. Схематический гидрогеологический разрез по створу *Б*

1 — почвенно-пирокластический слой; *2* — песок мелкозернистый; *3* — галечно-песчаный слой; *4* — валунно-галечно-песчаные отложения; *5* — глыбы, щебень и дресва андезитов; *6* — андезиты порфировые пористые; *7* — брекчиевые лавы андезитов; *8* — андезиты порфировые, массивные; *9* — шлаковые лавы андезито-базальтов; *10* — андезито-базальты; *11* — уровень подземных вод; *12* — коэффициенты фильтрации рыхлых отложений

Во втором случае, когда берега насыщаются из водохранилища, фильтрационные потери можно оценить методом Н. Н. Биндемана [3] или Н. Н. Веригина [2] — определить удельную величину потерь на различные моменты времени, строить на эти моменты депрессионные поверхности и устанавливать другие гидрогеологические характеристики.

Оба метода предполагают, что водохранилище наполняется мгновенно, фильтрация через берега и дно — неустановившаяся. Отметка водоупора при расчетах принята 315 *м*.

По методу Н. Н. Биндемана определены следующие величины:

а) объем воды V_0, расходуемый на насыщение пород, заключенных между дном водохранилища и естественным уровнем подземных вод,

$$V_0 = \frac{\mu B h_0}{2},$$

где μ — коэффициент водоотдачи; B — ширина водохранилища; h_0 — расстояние от дна водохранилища до уровня подземных вод;

б) фильтрационный расход q_t на различные моменты времени t после заполнения водохранилища

$$q_t = \frac{\beta}{2} H \sqrt{\frac{2\mu KH}{t}},$$

где H — расстояние от уровня подземных вод до подпорной отметки; K — коэффициент фильтрации; β — коэффициент, зависящий от мощности водоносного горизонта и H;

в) объем воды V_t, идущий на насыщение берега за время t,

$$V_t = \beta H \sqrt{2\mu KHt}.$$

По методу Н. Н. Веригина [2] рассчитаны:

а) депрессионные поверхности при фильтрации из водохранилища на различные моменты времени t с момента его заполнения

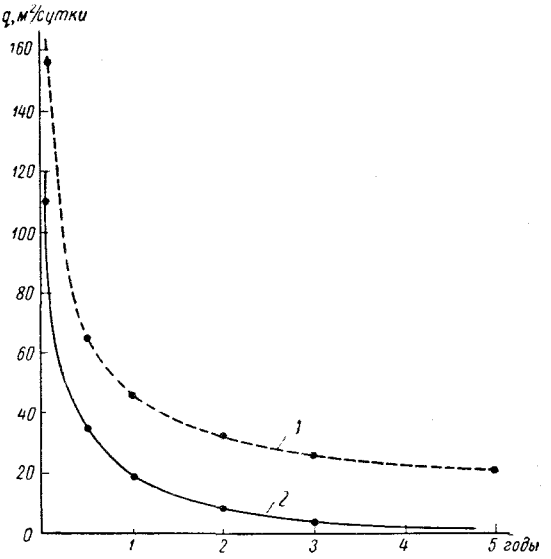


Рис. 3. Определение потерь через борта и дно водохранилища $q = f(t)$ методом (q — односторонний расход на 1 *м* длины водохранилища):

1 — Биндемана; *2* — Веригина

$$h^2 = h_e^2 + (h_2^2 - h_1^2)[1 - \varphi(\lambda)],$$

где h — искомая ордината кривой депрессии на расстоянии x от уреза воды; h_e — бытовая глубина в том же сечении; h_1 и h_2 — соответственно, глубины воды в реке до и после наполнения водохранилища; $\varphi(\lambda)$ — интеграл вероятности Гаусса,

$$\varphi(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\lambda} e^{-\lambda^2} d\lambda,$$

причем аргумент этой функции

$$\lambda = \frac{x}{2\sqrt{at}}$$

(a — коэффициент уровнепроводности);

б) фильтрационный расход q_t на различные моменты времени t

$$q_t = \frac{K(h_2^2 - h_1^2)}{2l_s}\left(\frac{l_s}{\sqrt{\pi at}} - 1\right),$$

где l_s — расстояние на уровне подпорной отметки в водохранилище до естественного уровня грунтовых вод.

Различие величин потерь по названным выше методикам (рис. 3) объясняется тем, что метод Н. Н. Веригина, в отличие от метода Н. Н. Бин-

демана, учитывает влияние естественного потока, снижающего фильтрационные потери. Приведенные результаты относятся лишь к стволу *Б*. Недостаточная изученность гидрогеологических условий не позволяет определить величины этих потерь в разных сечениях водохранилища. Ориентировочно установлено, что по всей длине водохранилища эти потери в первый расчетный месяц его эксплуатации составят 32—40 $м^3/сек$.

Указанные методы применены в условиях мгновенного наполнения водохранилища. В действительности же в зависимости от гидрографа и функциональной зависимости объема водохранилища от отметки зеркала характер наполнения его может быть весьма сложным, и установить его следует, применяя интегральную зависимость стока р. Кроноцкой в совокупности с водохозяйственными характеристиками водохранилища.

Потери на фильтрацию в обход плотины и через суглинистый экран рассчитывались по обычным формулам установившегося режима и, в зависимости от глубин врезки плотины в берега и цементационной завесы, составляют 25—15 $м^3/сек$.

После выбора створа плотины, установления соответствующей подпорной отметки и водохозяйственных характеристик водохранилища для определения размеров фильтрационных потерь потребуется предварительно выполнить следующие работы. Прежде всего выяснить роль подземного потока, движущегося от озера Кроноцкого вдоль реки по направлению к Кроноцкому заливу, в формировании фильтрационных потерь. Частично на этот вопрос могут дать ответ полевые фильтрационные исследования (наливы в скважины и шурфы). Затем необходимо осуществить электрическое моделирование процесса фильтрации в природной обстановке и после наполнения водохранилища. Необходимо также моделировать весь район р. Кроноцкой и отдельные участки ее долины соответственно намечаемым створам плотины.

Кроме того, необходимо выполнить ряд опытов по моделированию подземного потока в основании плотины. Наконец, чтобы максимально приблизить соответствующие расчетные данные к природным условиям, следует составить совмещенные интегральные графики наполнения водохранилища и соответствующих фильтрационных потерь.

Таким образом, в сложных гидрогеологических и гидрологических условиях р. Кроноцкой определение фильтрационных потерь — достаточно трудная задача. Установить их можно лишь в результате комплексного использования полевых и лабораторных исследований, а также соответствующих расчетно-теоретических методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. Гостехтеоретиздат, 1952.

2. Веригин Н. Н. О неустановившемся движении грунтовых вод вблизи водохранилищ. ДАН СССР, новая сер., т. XVI, № 6, 1949.

3. Биндеман Н. Н. Гидрогеологические расчеты подпора грунтовых вод и фильтрации из водохранилищ. Углетехиздат, 1951.