

КРАТКИЕ НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.324.86

**О ГИДРОЛОГИИ «СУХИХ» РЕК РАЙОНОВ АКТИВНОГО
ВУЛКАНИЗМА****(на примере ручья Козельского — Авачинская группа вулканов)**

ВИНОГРАДОВ В. Н., КУПЦОВ А. Н.

(Ин-т вулканологии ДВНЦ АН СССР)

«Сухие» реки являются характерной чертой гидрографии районов активного вулканизма и обязаны своим названием высоким инфильтрационным свойствам слагающих долину пород. «Сухие» реки зарождаются, как правило, ниже языков ледников, на высотах от 800 до 2000 м, и уже на расстоянии нескольких километров от истока исчезают, хотя долины имеют форму хорошо выраженных русел, заполненных валунами, глыбами в верхних и плохо отсортированным материалом в нижних частях [1]. Сток таких рек эпизодичен и наблюдается в период весенне-летнего таяния снега, фирна и льда или после сильных дождей.

В продольном профиле большинства «сухих» рек можно выделить три характерных участка, отличающихся друг от друга высотным положением, морфометрией русел и долин [4]. Высотное положение этих участков для каждого конкретного водотока зависит от климатических условий и экспозиции долины. Так, первый участок ручья Козельского расположен выше 800 м и имеет узкую, глубоко врезанную V-образную долину с большими уклонами. Здесь происходит формирование стока, и территорию этого участка бассейна можно охарактеризовать как область питания ручья. Второй участок расположен в интервале высот 800—500 м; врез долины и уклоны здесь несколько меньше, форма долины трапецеидальная, русло выражено слабее. На этом участке наблюдается инфильтрация поверхностного стока в рыхлые, легко проливаемые породы. На нем отсутствует питание ручья за счет грунтовых и дождевых вод, и его можно охарактеризовать как область транзита. На третьем участке — от высоты 400—500 м до устья — продольный профиль резко выполаживается, долина совершенно не выражена, русло теряется в рыхлых, плохо отсортированных отложениях, поверхностные воды растекаются по конусу выноса. По генетике стока данный участок характеризуется как область поглощения поверхностных вод.

Это на первый взгляд простое подразделение «сухих» рек на участки получает свое обоснование не только в морфометрии долины и русла, но и в динамике и режиме стока и сопутствующих ему факторах, например таких, как селевая опасность. Так, долины «сухих» рек являются свое-

образными селевыми бассейнами [5]. Основная зона селеобразования расположена на первом участке, а два других представляют собой зону отложений. Энергия потока, характеризуемая максимальными расходами, уменьшается в данном случае от истока к устью, что обусловлено своеобразием взаимосвязи подземных и поверхностных вод на водосборах «сухих» рек.

Прежде чем подойти к количественному анализу взаимосвязи подземных и поверхностных вод в бассейне ручья Козельского, остановимся на его общих морфометрических и гидрологических характеристиках.

Ручей, как об этом уже говорилось, относится к категории «сухих» рек и берет начало с одноименного ледника. Длина водотока 16 км, из них с перепадами высот 0—200, 201—500 и 501—760 м — соответственно 9, 5 и 2 км. В 1972 г. в районе выхода ручья из-под языка ледника был оборудован гидрологический пост (ГП), на котором в период летних экспедиций проводились регулярные наблюдения за уровнем и систематические измерения расхода воды. Одновременно была создана метеостанция, на которой проводились метеорологические наблюдения по стандартной программе. Площадь водосбора ручья в створе гидрологического поста составляет 9,8 км².

Ледник Козельский расположен на южном склоне седловины, между вулканами Авачинским и Козельским [2]. Площадь его составляет ~ 1,6 км², из которой закрытая пирокластическим материалом площадь языковой части равна 0,17 км² (по данным 1974 г.). Высшие точки ледника в виде двух истоков находятся на юго-восточном склоне Авачинского вулкана, на высотах 2070 и 2030 м соответственно.

Водораздельная часть седловины имеет ровную поверхность шириной до 0,6 км, от которой симметрично и полого спускается на юг область питания ледника Козельского, а на север круто обрывается ледник Заварицкого. Профиль седловины между вулканами Авачинским и Козельским представляет собой волнистую поверхность с двумя западинами на разных гипсометрических уровнях. Нижняя западина, разделяющая ледники Козельский и Заварицкого, в конце периода абляции (август) в результате таяния снега заполняется водой, образуя небольшое озеро. Вода из этого озера растекается на оба склона в толщу обоих ледников. В леднике Козельском вода размывает, утепляет толщу и образует «язвы», т. е. участки локального разрушения ледника, расположенные выше границы питания. В водораздельной части промоины имеют глубину до 2,5—3,0 при ширине 1,0—1,5 м; в их стенках вскрывается толща пирокластического материала (в основном шлака) — продуктов извержения Авачинского вулкана 1945 г. — мощностью 1,6—1,8 м. В основании шлака находится голубоватый лед с большим количеством пузырьков воздуха.

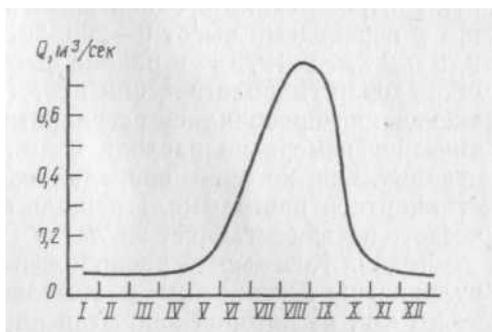
Большая часть водораздела ежегодно освобождается от сезонного снега, и на поверхности обнажается шлак. Расход водотока в водораздельной части имеет четко выраженные суточные колебания — максимум во второй половине дня и минимум в ночное время, когда по краям озера образуются тонкие забереги.

По бортам ледника (в двух местах у левого и в одном месте у правого склонов) сформировались «язвы», которые представляют собой неправильной формы и разного размера провалы в толще на глубину до 50 м. Внизу в трещинах и «язвах» в период абляции накапливается вода, дающая начало стоку. По левому борту, на границе с языковой частью, летом вскрываются трещины, перекрытые сезонным снегом. Водный поток проходит на глубине до 40—50 м и не везде вскрывает полностью толщу льда до ложа. Вдоль правого борта водный поток

течет прямо в толще ледника. Язык, прикрытый пирокластическим материалом (в основном шлаком) толщиной до 160 см, спускается до высоты 960 м; отсюда двумя потоками берет начало ручей Козельский.

Гидрограф ручья (рис. 1) повторяет ход такого основного стокообразующего фактора, как радиационный баланс, и зависит от режима ледника Козельского. Влияния на сток жидких осадков, выпадавших в бассейне в довольно большом количестве и со значительной интенсивностью, не обнаружено. Среднегодовой расход в створе гидропоста равен 0,25 м³/сек, что соответствует слою стока 820 мм. Наибольшие расходы, зарегистрированные в июле и августе, превышают 3,0 м³/сек. Паводки,

Рис. 1. Приближенный нормированный гидрограф стока ручья Козельского в створе гидропоста, по данным эпизодических наблюдений 1972—1978 гг. ($F = 9,8 \text{ км}^2$; Q_{max} , Q_{min} и $Q_{\text{ср.год}}$ соответственно; $M = 26 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$; $h = 820 \text{ мм}$)



характеризуемые расходами 2 м³/сек и выше, сопровождаются, как правило, селями. Именно в эти периоды происходит максимальное насыщение грунтовых вод и смыкание их уровня с поверхностными.

При прохождении первого паводка в гидрологическом году наблюдается резкое изменение мутности воды. В первой половине лета вода в ручье прозрачна, как и в холодный период. После паводка, хотя расход и уменьшается до нормального, вплоть до конца периода абляции вода в ручье мутная из-за взвешенных тонких частиц, очевидно, вулканического происхождения.

Суточный гидрограф стока (рис. 2) нередко нарушается импульсивным изменением расходов как в сторону повышения, так и уменьшения, что вызвано механическими преобразованиями в русле выше гидропоста (обрушение кровли ледника и создание временных плотин, прорыв временных плотин, русловые деформации и т. д.). На рис. 2 показаны графики изменения расхода, уровня и температуры воды 13—14 июня 1978 г., по данным трехчасовых наблюдений. При среднем суточном расходе 250 л/сек сток достигал максимальных значений к 8—10 ч утра, причем абсолютная разность между максимальным и минимальным расходами составляла 70 л/сек или 28% среднего суточного расхода. Суточное колебание стока соответствует изменению температуры воды. Зависимость стока от уровня воды в створе гидропоста неустойчива. Изменение расходов в значительной степени обусловлено изменением уклонов водной поверхности. При расходах, превышающих 0,5 м³/сек, происходят значительные деформации русла вплоть до полного изменения его параметров.

Следует отметить, что приведенный выше анализ касается только поверхностного стока и не может применяться как один из основных показателей водного баланса ручья Козельского.

Гидропост на ручье Козельском находится в зоне транзита и практически характеризует не сток бассейна, а способность русла пропускать тот или иной расход во время измерения. В течение всего года (за исключением нескольких паводочных дней) происходит инфильтра-

ция русловых вод через ложе в рыхлые крупнообломочные отложения, слагающие долину ручья. Дождевые и талые воды, сформированные на скальных водонепроницаемых бортах долины, также идут на пополнение грунтовых вод. Без сомнения, существует подрусовой сток, определение которого представляет особенный интерес для гляциологов (при расчете баланса ледников), гидрологов, гидрогеологов (при расчете баланса водосборов) и практиков (для прогноза селеопасности).

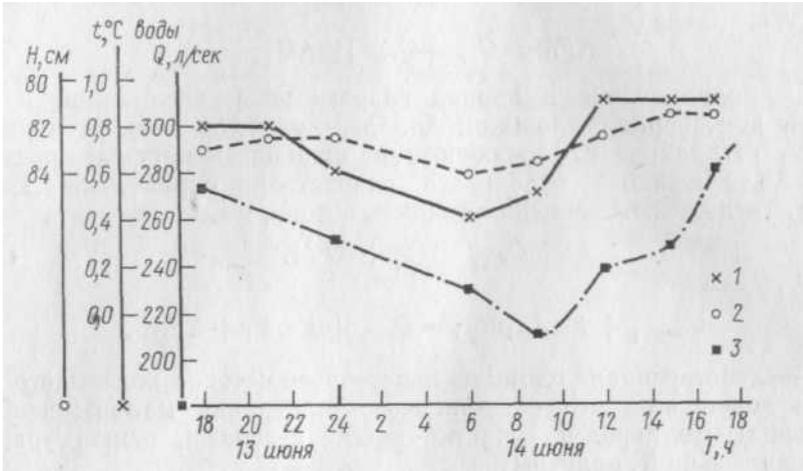


Рис. 2. Суточный график колебаний гидрологических характеристик в створе гидророста 13–14 июля 1978 г.

1 — изменение температуры воды t ; 2 — изменение слоя воды H ; 3 — изменение расходов Q . Экстремальные точки: t_{\max} , H_{\max} и $Q_{\max} = 0,9^{\circ}\text{C}$, $81,5 \text{ см}$ и 281 л/сек ; t_{\min} , H_{\min} и $Q_{\min} = 0,4^{\circ}\text{C}$, $84,0 \text{ см}$ и 209 л/сек .

Средние точки: t_{cp} , H_{cp} и $Q_{\text{cp}} = 0,6^{\circ}\text{C}$, $82,7 \text{ см}$ и 245 л/сек

Ниже приводится ориентировочный расчет подземной составляющей суммарного стока, по данным гидрометрической съемки ручья Козельского, проведенной 8 июля 1978 г. Метод расчета основан на измерении расходов по течению ручья, определении параметров долины в створах измерения и может быть назван «гидролого-морфометрическим». Метод применим при расчете суммарного стока «сухих» рек с узкими, хорошо выраженными долинами, ограниченными скальными, относительно водонепроницаемыми бортами.

Суммарный сток таких водотоков, ограниченных в пространстве, можно представить выражением

$$Q_c = Q_{\text{пов}} + Q_{\text{подз}}, \quad (1)$$

где Q_c — суммарный расход вдоль долины; $Q_{\text{пов}}$ и $Q_{\text{подз}}$ — поверхностный и подземный сток соответственно.

Поверхностный сток можно определить инструментально (например, вертушками). Подземный сток можно оценить расчетным путем, однако при этом необходимо знать ряд гидрогеологических параметров, определение которых требует проведения скрупулезных трудоемких полевых работ, усложняемых труднодоступностью районов распространения «сухих» рек. Тем не менее с достаточной точностью на первом этапе можно рассчитать подземный сток, не прибегая к специальным гидрологическим работам.

По известной формуле

$$Q_{\text{подз}} = KiF, \quad (2)$$

где K — коэффициент фильтрации; i — уклон подземного потока, F — «действующая» поперечная площадь водосбора подземного потока. Таким образом,

$$Q_c = Q_{\text{пов}} + KiF. \quad (3)$$

Выделим на ручье Козельском гидростворами несколько участков так, чтобы приращение водосборной площади от створа к створу было большим, чем теоретическая ошибка при измерении расхода воды в ручье, т. е.

$$\Delta FM = Q_{i+1} - Q_i \gg |\pm \Delta Q|, \quad (4)$$

где M — модуль стока в период гидрометрической съемки; F — приращение водосборной площади; Q_i , Q_{i+1} — расходы воды в верхнем и нижнем створах; $\pm \Delta Q$ — абсолютная ошибка измерения расхода в створе. Для каждого отдельного гидроствора справедливо выражение (3). Тогда, учитывая неразрывность потока, можно записать

$$Q_{c_{i+1}} = Q_{c_i} + \Delta FM, \quad (5)$$

или

$$Q_{\text{пов}_{i+1}} + K_{i+1}i_{i+1}W_{i+1} = Q_{\text{пов}_i} + K_i i_i W_i + \Delta FM_i, \quad (6)$$

где W — «действующая» площадь поперечного сечения подземного стока.

При допущении, что коэффициент фильтрации малоизменчив для водовмещающих пород на участке между створами, решая уравнение (6) относительно K , получим

$$K = \frac{Q_{i+1\text{пов}} - Q_{i\text{пов}} - \Delta FM_i}{W_i i_i - W_{i+1} i_{i+1}}. \quad (7)$$

Учитывая, что долину слагают крупнообломочные отложения, где преобладает турбулентное движение подземных вод, уклон i в формуле (2) следует принять в степени $1/2$. Без ущерба для точности расчета поперечную площадь подземного потока можно заменить шириной долины B по урезу воды в ручье.

С учетом этих допущений формула (7) примет вид

$$K = \frac{Q_{i+1\text{пов}} - Q_{i\text{пов}} - \Delta FM_i}{B_i \sqrt{i_i} - B_{i+1} \sqrt{i_{i+1}}}. \quad (8)$$

В таблице приведены значения коэффициента фильтрации, рассчитанные по формуле (8). Как видно из таблицы, коэффициент фильтрации уменьшается вниз по течению, что согласуется с данными фракционного анализа, проведенного гидрологами ЛГМИ на «сухих» реках Кроноцкого вулкана [4]. Участок между створом гидропоста и створом I

Расчет коэффициента фильтрации гидролого-м рфометрическим методом

Створ	Расход на 8.VI 1978 г. Q , $\text{м}^3/\text{сек}$	Ширина долины B , м	Продольный уклон долины i	Приращение площади ΔF , км^2	ΔFM^*	K
Гидропоста	0,18	25	0,076			
I	0,16	45	0,073	1	0,020	0,076
II	0,16	70	0,060	1	0,020	0,041
III	0,13	120	0,061	1	0,020	0,0039

* Модуль стока M при расчете коэффициента фильтрации принят постоянным по бассейну и равным $20 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$.

расположен на границе областей питания и транзита; участок же между створами I и III входит в область транзита; здесь рассчитанные коэффициенты фильтрации не изменяются и равны $0,004 \text{ м/сек}$ или $\sim 350 \text{ м/сутки}$.

Подставляя рассчитанные параметры в (3), получаем эмпирические формулы для расчета суммарного стока в створе гидропоста и створе III:

$$Q_{c_{\text{III}}} = Q_{\text{пов}_{\text{III}}} + 0,05 h_{\text{III}}; \quad Q_{c_{\text{III}}} = Q_{\text{пов}_{\text{III}}} + 0,12h_{\text{III}}, \quad (9)$$

где h — мощность грунтового потока (мощность водоносного горизонта); $0,05$ и $0,12$ — размерные эмпирические коэффициенты, равные произведению коэффициента фильтрации на гидравлический уклон подземного потока в степени $1/2$ и ширину долины B (см. таблицу).

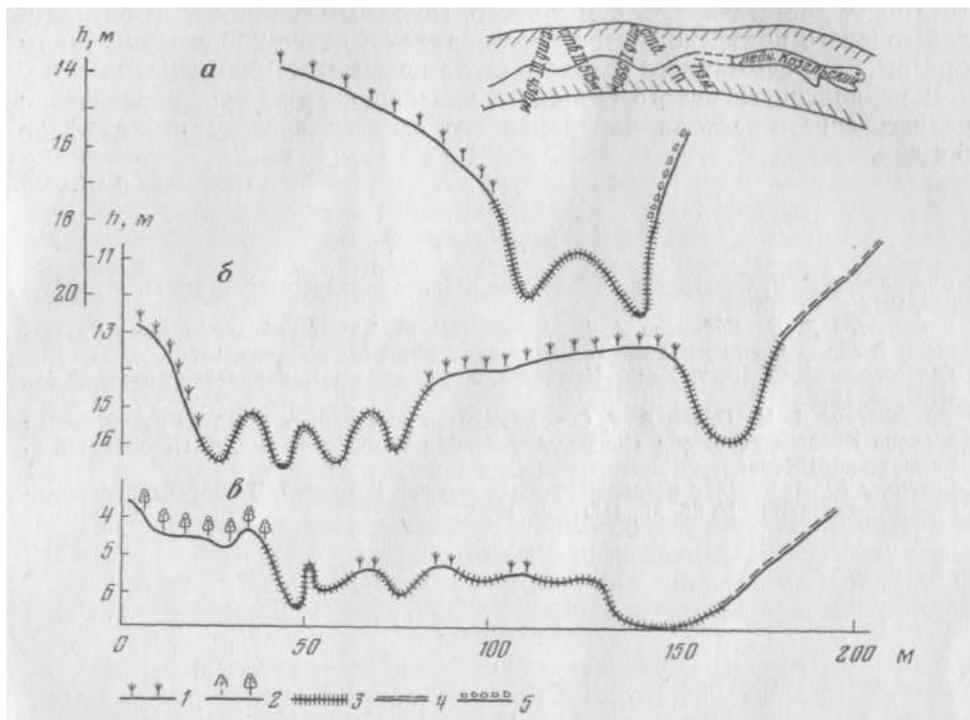


Рис. 3. Поперечные профили долины ручья Козельского на участках гидрологических створов

a — I; b — II; v — III; 1 — ольховый стланник; 2 — каменная береза; 3 — селеопасные участки; 4 — снежники; 5 — камнепады (параметры долины для расчета подземного стока см. в таблице)

По данным [3], глубина залегания грунтовых вод в рассматриваемом районе не превышает $3\text{--}4 \text{ м}$ от поверхности, мощность же вулканического, рыхлого, обломочного материала, заполнившего долину, составляет не менее $5\text{--}6 \text{ м}$ (см. профили на рис. 3). Таким образом, мощность грунтового потока, который, естественно, зависит от водности периода, составляет не менее $1\text{--}2 \text{ м}$ и в период паводков может достигать $5\text{--}6 \text{ м}$. Допустив, что в период проведения исследований мощность грунтового потока составила всего 1 м , исходя из формул (9), получим (см. таблицу) суммарные расходы, $\text{м}^3/\text{сек}$:

$$Q_{c_{\text{III}}} = 0,18 + 0,05 = 0,23; \quad Q_{c_{\text{III}}} = 0,13 + 0,12 = 0,25.$$

Модуль стока в створе гидропоста равен $24 \text{ л/сек}\cdot\text{км}^2$, а в створе III—всего $20 \text{ л/сек}\cdot\text{км}^2$, что логически оправдано, так как в период съемки питание осуществлялось за счет таяния снежников и льда, пространство которых уменьшается с ростом абсолютных отметок водосбора.

Выводы. «Сухие» реки являются характерной особенностью районов активного вулканизма и имеют широкое распространение в восточной вулканической части Камчатки.

Роль «сухих» рек в гидрологии вулканических областей исключительно велика и выражается в периодичности годового стока, а также в уменьшении энергии потока (расходов) от истоков к устью таких рек.

Сток с ледника Козельского, полученный по данным наблюдений гидропоста, занижен на величину подземного подруслового стока, который может достигать 50% суммарного. По самым осторожным оценкам, слой годового подземного стока составляет не менее 200 мм/год ; таким образом, слой суммарного годового стока превышает 1000 мм/год .

В период интенсивного суточного колебания стока для определения среднесуточного расхода измерение его следует производить с 14 до 16 ч дня.

Поступила 6 III.1979

Литература

1. *Виноградов В. Н.* Современное оледенение районов активного вулканизма. М., «Наука», 1975.
2. *Виноградов В. Н., Будников А. Е., Каразия Н.Ф.* Черты режима ледника Козельского. В сб.: «Гляциологические исследования», № 25. М., «Наука», 1976.
3. Гидрогеология СССР, т. XXIX. Камчатка, Курильские и Командорские острова. М., «Недра», 1972.
4. *Догановский А. М., Орлов В. Г.* О возможности образования селей на сухих руслах вулкана Кроноцкого. В сб.: «Вопросы географии Камчатки», вып. 6. Петропавловск-Камчатский, 1970.
5. *Евтодьев Ю. А.* Селевая опасность горных районов Камчатки. В сб.: «Гляциологические исследования», № 25. М., «Наука», 1976.