

В. Г. ГОЛЬДТМАН

**Влияние подземных вод на температуру
вечномерзлой толщи и таликов**

Магадан — 1969

В. Г. Гольдтман

УДК 551.49:551.345

ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕМПЕРАТУРУ ВЕЧНОМЕРЗЛОЙ ТОЛЩИ И ТАЛИКОВ

Многие россыпные месторождения Магаданской области и сопредельной части Якутской АССР в районе распространения вечномерзлой толщи осложнены водоносными таликами [5, 7, 8]. Достаточно глубокая талая зона облегчает подготовительные операции к разработке россыпи драгой. При открытых горных работах наличие талых пород — также благоприятный фактор, если возможно обеспечить сток воды, но при большой глубине разреза, вскрывающего водоносные талики, мероприятия по осушению значительно удорожают разработку.

Подземный способ разработки россыпей применяется на Северо-Востоке СССР почти исключительно в пределах мерзлой зоны, однако в связи с вовлечением в эксплуатацию россыпей глубокого залегания все большее значение приобретают задачи предотвращения притока воды из вскрываемых или подрабатываемых водоносных таликов в подземные горные выработки, точного определения границ таликов, предварительного осушения водоносных пород. В ореоле сравнительно высоких температур (-3° и выше) вблизи талика мерзлые породы — галечники с глинистым заполнением, щебенистые супеси и суглинки характеризуются малой прочностью, здесь требуется увеличение затрат на крепление. В связи со всем этим представляет интерес изучение влияния подземных вод

на температуру мерзлых пород и таликов. При разведке россыпных месторождений и ведении горных работ местоположение таликов и ослабленных зон мерзлых пород может быть достаточно точно установлено на основе закономерностей мерзлотоведения, гидрогеотермии и горной теплофизики [4, 10, 11].

В рассматриваемом районе питание надмерзлотных подземных вод происходит практически только в теплый сезон, при положительных среднесуточных температурах воздуха и в первых двух-трех декадах после начала осеннего промерзания почвы, то есть 100—130 суток в году, во время дождей, таяния снега и при конденсации паров воды из воздуха в почве.

Среди элементов рельефа преобладающую площадь занимают горные склоны крутизной от 5 до 35°. Для характеристики надмерзлотного подземного (грунтового) стока по склонам используем данные по бассейну р. Малого Анюя [3], в пределах которого преобладает мелкоегорье и среднегорье. Площадь бассейна выше створа пос. Островного 30 000 км². Средний уклон поверхности по всему бассейну, включающему наряду со склонами обширные эрозионно-аккумулятивные террасы, 0,085. Суммарная протяженность ущелий и долин приблизительно равна 7000 км. В пределах этого бассейна по 23 детально изученным водосборным бассейнам горных ручьев и рек с площадями в пределах 5—1700 км² при средней высоте 580 м средняя крутизна склонов оказалась равной 0,23 (12°30'). Здесь же относительное превышение водоразделов над дном долины обычно 0,2—0,4 км. Интересующая нас средняя длина горизонтальной проекции линии падения склона равна 1,8 км, среднее расстояние между смежными долинами — 3,6 км. В сезоннопротаивающем слое склона в течение теплого сезона стекает к подножию преобладающая часть атмосферных осадков. Поверхностный сток возникает лишь во время редких ливней. Средний единичный расход фильтрационного потока по склону достигает у подножия 3 м³/сут на 1 м ширины. Этот единичный расход возрастает от водораздела к подножию.

Неравномерная водопроницаемость делювиальных отложений и микрорельеф склонов осложняют наклонный фильтрационный поток. Так, только при среднем коэффициенте фильтрации пород сезоннопротаивающего слоя более 10 м/сут и мощности 1,2 м возможен единичный расход 3 м³/сут. При недостаточной водопроницаемости пород у подножия склона

часть фильтрационного потока образует на склоне небольшие источники. На выпуклых участках склона фильтрация происходит в веерообразно расходящихся направлениях и единственный расход не всегда возрастает по падению склона. Вогнутые участки концентрируют надмерзлотный сток. В целом характерно увеличение среднего единичного расхода по направлению от вершины к подножию и обособление отдельных полос наиболее интенсивного грунтового надмерзлотного стока во впадинах склона и в сравнительно высокопроницаемых полосах делювиальных отложений, элювия или трещиноватых коренных пород.

В местах, где сезоннопротаивающий слой не вмещает грунтовой сток, находятся истоки поверхностных временных водотоков. Поверхностный водоток сортирует обломочный делювиальный материал, выносит мелкие фракции и увеличивает водопроницаемость породы. Коэффициент фильтрации аллювиального слабоокатанного галечника всегда на один-два порядка выше, чем делювиального материала. Отложения аллювиального галечника на дне ущелий вмещают поэтому фильтрационные потоки с большим расходом. Например, при продольном уклоне ручья 0,05 в талом слое галечников с коэффициентом фильтрации 500 м/сут мощностью 6 м единичный расход фильтрационного потока составит 150 м³/сут.м, а скорость фильтрации 25 м/сутки. Фильтрационный поток в аллювиальных галечниках уже здесь, у истоков горного ручья, оказывает большое влияние на температурный режим пород и глубоко протаивает породы, охлажденные или замороженные за зиму.

В верхней части горного склона сезонное протаивание распространяется в элювиальный слой и трещиноватые коренные породы сравнительно небольшой влажности. Трещины и полости осенью, до промерзания пород, успевают осушиться. Кондуктивный перенос тепла по коренным породам дополняется конвекцией воздуха в трещинах и между глыбами или в порах щебня, глубоким проникновением снега. Уже здесь при снеготаянии и во время дождей образуются струи надмерзлотных вод в трещинах и между глыбами или более мелкими обломками. Их течение сопровождается переносом тепла на глубину, а временное замерзание — выделением теплоты фазового перехода с нагреванием пород до 0°C. Этот фактор переноса тепла действует однако только в теплый сезон. В начале зимы сдренированные породы быстро промерзают, причем промерзание почти не замедляется эффектом нулевой

завесы. В итоге роль надмерзлотных вод в верхней части склона обычно сводится лишь к увеличению глубины сезонного протаивания без замедления последующего промерзания пород, глубина сезонного протаивания достигает 5—7 м. У верхней граничной поверхности вечномерзлой зоны и поверхности почвы породы имеют почти равные среднегодовые температуры.

Вниз по склону можно проследить постепенное обогащение рыхлых отложений дисперсным материалом: здесь появляются солифлюкционные щебенистые супеси и суглинки и дресва магматических пород. В пределах сезоннопротаивающего слоя эти отложения содержат линзы щебня, по которым вода движется с большой скоростью, хотя породы талого слоя в целом слабопроницаемы и характеризуются коэффициентами фильтрации 0,1—10 м/сут. Зато влажность и льдистость пород сезоннооттаивающего слоя гораздо больше, чем в верхних частях склона. Супеси и суглинки в порах между крупными обломками характеризуются влажностью 15—30%. Нередко на замшелых пологих склонах наружный слабопроницаемый пласт торфяноилистых суглинков летом взвешивается гидростатическим давлением надмерзлотных вод или разжиженного грунта (нижележащих щебенистых супесей) с образованием солифлюкционных смещений [9]. В верхней части склона на оттаивание 1 м³ пород должно поступить от поверхности 4—5 квт.ч/м³, для влажных пород нижней части склона 35—45 квт.ч/м³. Такое же количество тепла должно быть отведено при промерзании пород в начале зимы, вследствие чего это промерзание длится на один-полтора месяца дольше, чем в верхней части склона.

Наиболее глубоко протаивающие полосы фильтрации и насыщения в рыхлых отложениях у подножий склонов промерзают еще дольше или даже вообще не успевают промерзнуть, образуя небольшие талики.

Зимнее охлаждение многолетнемерзлых горных пород под сезоннопротаивающим слоем в нижней части склона начинается только после полного промерзания сезоннооттаивающего слоя, а среднегодовая температура этих пород на несколько градусов выше, чем под верхней частью склона. Известно, что среднегодовая температура пород у верхней границы вечномерзлой зоны тем выше, чем более продолжительное время в году эта зона ограничена сверху нулевой изотермой вследствие талого состояния деятельного слоя.

Только после промерзания пород в остальную часть зимнего сезона происходит охлаждение вечномерзлой зоны.

Распределение среднегодовых температур вечномерзлых горных пород под горными склонами на Северо-Востоке СССР показывает, что увеличение влажности сезоннопротаивающего слоя и надмерзлотный сток — основные причины относительного повышения температуры мерзлых пород от вершины склона к подножию [1].

Фильтрация надмерзлотной воды по сезоннопротаивающему слою усиливает поперечный перенос тепла от дневной поверхности на глубину. С увеличением единичного расхода фильтрационного потока конвективная составляющая эффективной теплопроводности талых пород также увеличивается и у подножия склона в отдельных местах перенос тепла в сезоннопротаивающий слой вызывает повышение среднегодовой температуры на глубине 2—3 м до значений, близких 0°C . Во время промерзания здесь действует только кондуктивный перенос тепла. Термическое влияние снежного покрова, высотная зональность температурного и ветрового режимов, растительный покров — эти факторы отражаются на распределении среднегодовых температур поверхности горных пород, но утепляют подошву склонов в гораздо меньшей мере или совсем не вызывают подобного утепления. Снежные скопления на дне ложбин утепляют лишь узкие полосы.

При утеплении пород надмерзлотными водами на нижней части склона или у его подножия среднегодовая температура поверхности (под снегом) может быть от -5 до -10°C , а в подошве сезоннопротаивающего слоя или появившегося водоносного талика — около 0°C .

У подножия горного склона в делювиальном шлейфе и галечниках террасы долины нередко находится начало межмерзлотных таликов округлого поперечного сечения.

Межмерзлотные или надмерзлотные фильтрующие талики (рис. 1) прослеживаются далее в галечниках эрозионно-аккумулятивной террасы и здесь обычно соединяются в более крупный надмерзлотный талик, прогреваемый летом межрусловой фильтрацией, или питают источники, которые зимой образуют наледь.

Фильтрационный поток вдоль межмерзлотного талика в толще галечников террасы долины охлаждается постепенно, отдавая тепло граничным поверхностям талика с нулевой температурой. Плотность среднегодового теплового потока из талика к граничной поверхности и далее в мерзлую зону обеспечивает стабильность положения граничной поверхности —

нулевой изотермы. По мере охлаждения фильтрующейся воды плотность теплового потока к периферии сохраняется постоянной только при постепенном уменьшении периметра поперечного сечения талика. В связи с этим поперечное сечение водоносного талика, окруженного многолетнемерзлой зоной и лишенного смены воды, по направлению фильтрации воды уменьшается, а протяженность такого рода таликов ограничена.

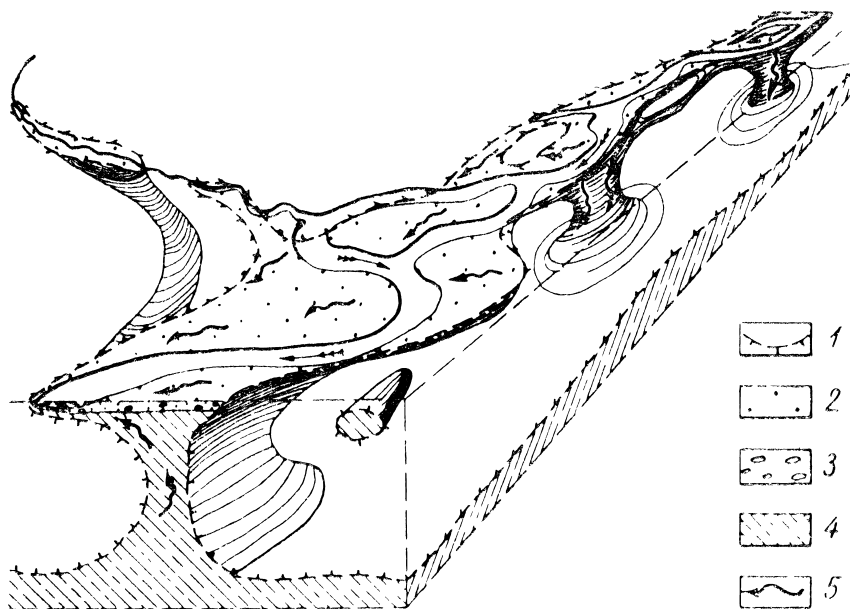


Рис. 1. Схема расположения надмерзлотных, межмерзлотных и сквозных фильтрующих таликов под дамбой горной реки:

1 -- граница мерзлой зоны; 2 — поверхность талика; 3 — талый галечник; 4 — талые коренные породы; 5 — направление фильтрации.

Поясним это примером. Пусть в толще галечников с коэффициентом фильтрации 100 м/сут образовался талик в форме горизонтального цилиндра диаметром 10 м и в нем движется напорный фильтрационный поток с гидравлическим уклоном 0,01. Вода вступает в талик только четыре месяца в году с температурой 8°C; остальные восемь месяцев фильтруется вода с температурой около 0°C или фильтрация вовсе отсутствует. Скорость фильтрации в летний сезон равна 1 м/сут.

Решение задачи об охлаждении фильтрационного потока в талике цилиндрической формы по подобию охлаждения цилиндрического тела той же формы [6] позволяет вычислить относительную избыточную температуру $\bar{\Theta}$, среднюю для поперечного сечения талика, на разных расстояниях x (в метрах) от начала пути фильтрации по формуле

$$\bar{\Theta} = \sum_{n=1}^{n=4} \frac{4}{\mu_n^2} e^{-\mu_n^2 Fo},$$

где n — порядковый номер члена ряда, а μ^2 при $n=1, 2, 3$ и 4 соответственно принимает значения 5,8; 30; 75 и 139.

Критерий Фурье фильтрационного потока (безразмерное время охлаждения)

$$Fo = \frac{\lambda_3 x}{c_{ов} v R^2}$$

находим для интересующих нас значений x , приняв коэффициент эффективной теплопроводности фильтрующего галечника $\lambda_3 = 2$ Вт/м град, удельную объемную теплоемкость $c_{ов} = 1160$ Вт·ч/м³ град, произведение $vR^2 = 25$ м³/сут, или 1,04 м³/ч. При этих условиях получаем следующие значения Fo и относительной избыточной температуры воды $\bar{\Theta}$ в поперечном сечении на расстоянии x :

$x =$	30	50	100	150	200	300
$Fo =$	0,05	0,08	0,167	0,25	0,323	0,50
$\bar{\Theta} =$	0,55	0,45	0,27	0,16	0,11	0,045

Аналогично для талика диаметром 20 м получено

$x =$	100	200	300	400	500	700
$Fo =$	0,0415	0,083	0,124	0,166	0,208	0,29
$\bar{\Theta} =$	0,57	0,44	0,33	0,27	0,21	0,13

Удельная теплоотдача фильтрационного потока на 1 пог. м уменьшается по длине талика пропорционально относительной избыточной температуре. Поскольку плотность теплового

потока должна сохраниться приблизительно неизменной, поперечное сечение талика по длине уменьшается так же, как значения Θ . В первом случае при начальном диаметре талика 10 м и поперечном сечении 78 м² уже через 200 м теплоотдача фильтрационного потока почти в 10 раз меньше, а устойчивым оказывается талик значительно меньшего сечения; но с уменьшением поперечного сечения затрудняется пропуск заданного фильтрационного потока. Поэтому рассматриваемые талики устойчивы лишь при ограниченной длине, на которой относительная температура сохраняется на уровне больше 0,4—0,3. В рассмотренных примерах это соответствует приблизительно 100 и 300 м. Плотность теплового потока из талика к границе с мерзлой зоной составляет в среднем за год 1—5 Вт/м² и компенсирует отвод тепла по мерзлой зоне.

Следовательно, трубообразные межмерзлотные талики можно встретить в толщах галечников между излучинами речного русла. Такие талики начинаются иногда под небольшим боковым притоком со значительным продольным уклоном и прослеживаются в сторону русла более крупной горной реки, где находится место выхода фильтрационного потока.

Необходимо иметь в виду, что талики цилиндрической формы, занимающие положение, близкое к вертикальному, и уходящие на глубину, охлаждаются окружающей мерзлой толщей неравномерно с глубиной: по мере приближения температуры мерзлой зоны к 0°C отвод тепла уменьшается.

Талик трубообразной формы после прекращения прогрева фильтрационным потоком сохраняется среди мерзлой зоны обычно десятки лет, постепенно уменьшаясь. Такие реликтовые талики встречаются в долинах там, где ранее происходило его питание и находилось место выхода воды, обычно — в русло.

В долинах горных рек Северо-Востока наиболее распространены так называемые подрусловые надмерзлотные талики, в которых перенос тепла водой в течение теплого сезона балансирует внешние потери тепла за остальное время года, в том числе наиболее значительные потери в атмосферу (рис. 2). Русло горных рек зимой лишено воды и обычно даже не покрыто ледяным покровом. Среднегодовая температура дна русла значительно ниже 0°C. Поэтому термин «подрусловый» талик не точно отражает причину существования такого рода таликов, отличающихся от собственно подрусло-

вых таликов, находящихся под неиссякаемыми и непромерзающими участками речного русла. Более точно можно подчеркнуть причину существования талика, назвав его фильтрующим или конвективно прогреваемым, надмерзлотным.

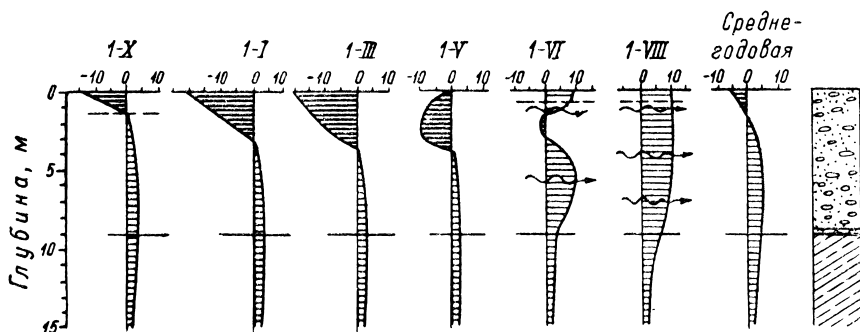


Рис. 2. Эпюры распределения температуры по глубине в фильтрующем надмерзлотном талике за год на разные даты и среднегодовая. Стрелками обозначена область конвективного прогрева.

Русло реки с его разветвлениями и излучинами служит в данном случае в течение теплого сезона истоком, местом питания фильтрационных потоков в галечниках или гравелисто-песчаных аллювиальных отложениях, а также местом стока (выхода) фильтрующейся воды на более низкой отметке. Направление фильтрационных потоков обычно отклоняется от направления русла в зависимости от взаимного расположения мест питания и выхода, строения напластований водонесущих пород и других факторов (см. рис. 1).

Конвективное прогревание пород фильтрующейся водой во время теплого сезона с сохранением надмерзлотного талика наблюдается уже в верховьях небольших горных ручьев и рек, где продольный профиль характеризуется уклоном 0,3—0,1, а скорость фильтрации достигает 10—30 м/сут. (рис. 3). Действительная скорость фильтрации достигает 50—150 м/сут. Фильтрация воды усиливает здесь перенос тепла от дневной поверхности к подошве сезоннотатаивающего слоя. Своеобразному переплетению фильтрационных струй способствуют изгибы и разветвления русла, изломы

продольного профиля, линзообразное строение аллювиальных отложений неоднородной водопроницаемости.

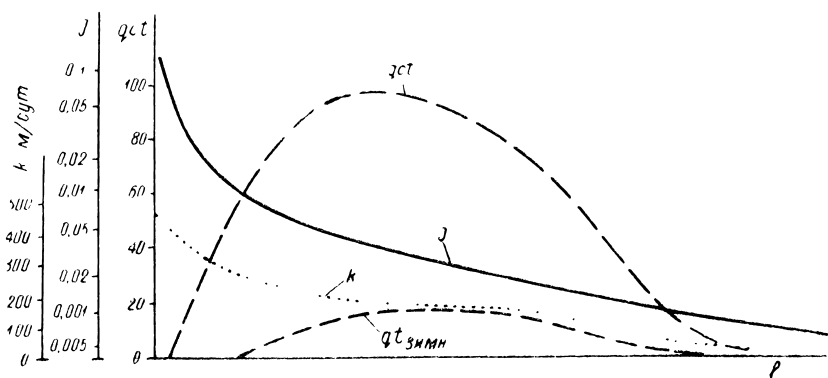


Рис. 3. Распределение уклона I , коэффициента фильтрации галечников k , м/сут, произведения единичного расхода фильтрационного потока в талике q на удельную теплоемкость воды c , и температуру воды t , qct , квт.ч/сут.м, за теплый и зимний (индекс «зимн.») периоды вдоль долины горной реки Северо-Востока на протяжении l (примерная схема).

В начале зимы слой аллювиальных галечников после стока грунтовой воды и глубокого падения их уровня промерзает в обезвоженном состоянии, причем глубина промерзания достигает 7—10 м. В начале лета эти галечники оттаивают на ту же глубину при насыщении их водой в течение нескольких суток. Последующей фильтрацией талик прогревается до 4—6°C. В таких условиях сохраняются талики небольшой ширины, но значительной глубины — в несколько десятков метров. По форме поперечного сечения талики под вершинами горных водотоков подобны трубам или желобам. Здесь встречаются и сквозные талики. Иногда сохранению талика способствует высокий снежный покров на дне ущелья.

По мере уменьшения продольного уклона долины и расширения полосы аллювиальных отложений вниз по долине надмерзлотный фильтрующий талик становится более стабильным, температура речной воды повышается. Вместе с тем скорость фильтрации и размах колебаний уровня воды в галечниках вниз по долине уменьшаются.

Ниже по течению, в более развитых долинах, где площадь водосбора водотока достигает 50—3000 км², а продольный

уклон находится в пределах 0,02—0,001, условия существования фильтрующих надмерзлотных таликов наиболее благоприятны. В пределах поймы реки между множеством разветвлений русла, излучинами и староречьями с достаточной разностью уровней происходит интенсивная фильтрация воды по галечникам. Во время паводков берега русла периодически размываются. При этом происходит удаление закольматированной зоны галечников и инфильтрация воды из русла облегчается. На более высоких участках поймы во время максимальных паводков сносится моховой покров, если он там начал развиваться и охлаждать почву. На высокой пойме и прилегающей полосе надпойменных террас снеговой покров защищен от ветрового уплотнения кустарником или широколиственным лесом. Благодаря этому поверхность над водоносным таликом несколько предохраняется от охлаждения зимой и при промерзании теряет и отводит меньше тепла из нижележащих талых галечников, нагретых за время фильтрации воды в теплый сезон. Зимой над таликом появляется мерзлый слой толщиной 2,5—5 м. Среднегодовая температура пород сезоннопромерзающего слоя у поверхности от —3 до —8°C. Наиболее глубокое промерзание происходит обычно под сухими зимой руслами, где снежный покров незначителен или вообще отсутствует. В течение лета сезоннопромерзающий слой оттаивает только под влиянием переноса тепла фильтрующейся водой.

Приблизительную количественную характеристику условий существования фильтрующего подруслового надмерзлотного талика дает рассмотрение баланса тепла за год в условно выделенной вертикальной призме горных пород с площадью основания 1 м² (рис. 4). Записав в левой части уравнения приходные части, а в правой — расходные, имеем (в киловатт-часах на квадратный метр)

$$Q + Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где Q — теплоотдача фильтрационного потока за летний период;

Q_1 — кондуктивный перенос тепла от дневной поверхности к оттаивающему слою и нижележащему талику за теплый сезон;

Q_2 — перенос тепла от талика и вышележащего сезоннопромерзающего слоя к охлажденной дневной поверхности за холодное время года;

- Q_3 — перенос тепла в многолетнемерзлую толщу через нижнюю и боковые границы талика;
- Q_4 — теплота, перенесенная фильтрационным потоком в нижележащие участки долины за время понижения уровня в начале зимы.

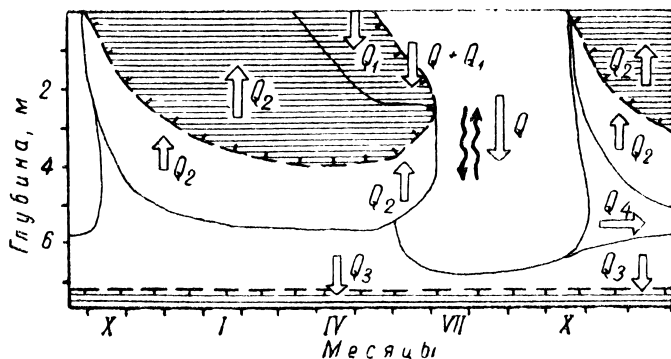


Рис. 4. Развертка во времени термических зон в вертикальном разрезе фильтрующего подруслового надмерзлотного талика с указанием потоков тепла, рассмотренных в тексте.

Теплоотдача Q квт.ч/м² за сезон продолжительностью τ ч находится в следующей зависимости от скорости фильтрации вдоль талика v м/ч, мощности слоя фильтрующих пород H м, средней начальной температуры воды $t^\circ\text{C}$, длины пути фильтрации x м, коэффициента эффективной теплопроводности фильтрующих пород λ_3 вт/м.град, возрастающего со скоростью фильтрации, и $c_{\text{ов}}$ вт.ч/м³.град — удельной объемной теплоемкости воды

$$Q = \frac{\tau t_{\text{ов}} v H}{1000(x + 2H)} \left[1 - 0,81 \exp \left(- \frac{2,4x \lambda_3}{v c_{\text{ов}} H^2} \right) \right].$$

При типичных значениях этих величин — $\tau = 2500$ ч, $t = 8^\circ\text{C}$, $H = 7$ м, $\lambda_3 = 2 \div 8$ вт/м.град зависимость Q от x и kI (произведения коэффициента фильтрации на уклон) показана графически на рис. 5.

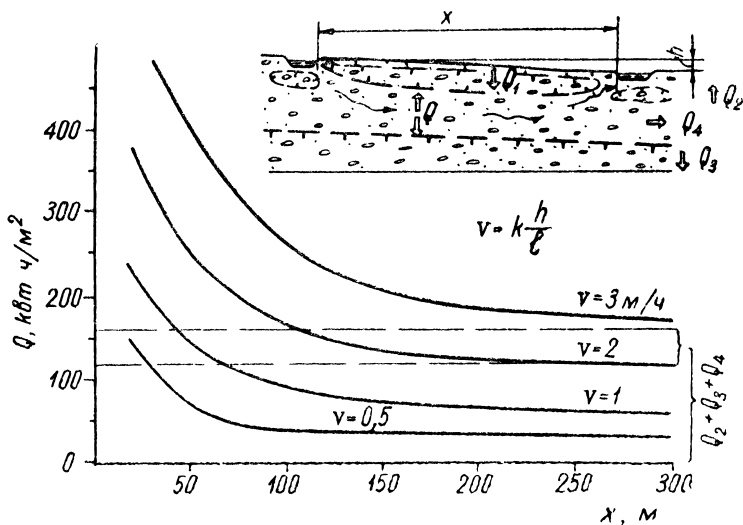


Рис. 5. График зависимости годовой теплоотдачи Q от длины пути x для фильтрационного потока надмерзлотного талика при скоростях фильтрации v (пояснения в тексте).

Второе слагаемое левой части уравнения баланса Q_1 включает теплоту плавления льда в оттаивающем слое и в климатических условиях Северо-Востока близко к 70 кВт.ч/м^2 .

Потери тепла Q_2 , включающие теплоту замерзания при промерзании водонасыщенных супесей и галечников на $3\text{—}4 \text{ м}$, составляют около 120 кВт.ч/м^2 за сезон. Значение Q_3 обычно близко к 12 кВт.ч/м^2 .

Величина Q_4 зависит от глубины понижения уровня воды H_n (в метрах) в талике перед промерзанием в начале зимы, объемной водоотдачи пород W (в долях единицы) и теплоты замерзания воды (93 кВт.ч/м^3)

$$Q_4 = 93 H_n W.$$

Эта величина выражает потерю потенциальной теплоты замерзания воды, уходящей с фильтрационным потоком при понижении уровня, и достигает $25\text{—}35 \text{ кВт.ч/м}^2$ за сезон.

Сумма потерь тепла за год достигает в рассматриваемых характерных условиях $120\text{—}170 \text{ кВт.ч/м}^2$.

При соотношениях длины пути фильтрации воды по талику и скорости фильтрации, отраженных в нижней части графика (см. рис. 5), конвективное привнесение тепла менее $55\text{--}80 \text{ квт.ч/м}^2$ в сумме с Q_1 дает менее $120\text{--}160 \text{ квт.ч/м}^2$ и не компенсирует сумму потерь тепла. В таком случае существование талика не обеспечено, слой, промерзший за зиму, не успевает оттаять за теплый сезон. Если привнесение тепла $(Q+Q_1)$ компенсирует потери $(Q_2+Q_3+Q_4)$, талик может устойчиво существовать. Баланс тепла сохраняется за счет увеличения потерь тепла через сезоннопротаивающий слой в многолетнемерзлую толщу и с наледной водой.

В результате переноса тепла фильтрующейся водой в толщу галечников или трещиноватых пород надмерзлотного талика на интервале глубин приблизительно $3\text{--}10 \text{ м}$ температуры в среднем за год выше 0°C или вообще не опускаются ниже 0°C , несмотря на то, что среднегодовая температура сезоннопромерзающего слоя над таликом у дневной поверхности ниже 0°C . Встречаются участки, где сезоннопромерзающий слой создает зимой подпор, замедляя сток аллювиальных вод по наиболее проницаемым галечникам. Тогда уровень на вышележащем отрезке поднимается и здесь может появиться временный источник, образующий наледь. В этом случае теплота отвердевания воды теряется таликом и выделяется в атмосферу.

Роль конвективного прогревания подтверждается фактическими данными о температурном режиме рассматриваемых таликов. В статье «Исследование способов оттаивания вечномерзлых грунтов» [2] дана характеристика температурного режима фильтрующего надмерзлотного талика в галечниках долины р. Омчака. Распределение среднегодовых температур пород по вертикали — у поверхности почвы -3°C , на глубине $1,2 \text{ м}$ $+0,3^\circ\text{C}$, на глубине $2,5 \text{ м}$ $+1,8^\circ\text{C}$ и на глубине 6 м $+1,6^\circ\text{C}$ — свидетельствует о том, что талик прогревается наиболее интенсивно на глубине $2\text{--}6 \text{ м}$ именно фильтрационным потоком, который здесь питается исключительно речной водой. Поверхностный сток в реке продолжается 120 суток в году и характеризуется средней температурой воды $6,5^\circ\text{C}$. Уклон долины 0,007, коэффициент фильтрации галечников 300 м/сут , ширина талика 170 м . Вычисления показали, что в среднем длина пути фильтрации равна здесь 180 м , относительная температура воды у выхода $0,6\text{--}0,7$, то есть относительная теплоотдача $0,3\text{--}0,4$. Из общего количества тепла Q , переносимого фильтрационными потоками за теплый сезон в

талик, расходуется в среднем за год 8 квт.ч/м^2 на кондуктивный тепловой поток к дневной поверхности, без учета тепла плавления грунтового льда. Остальная часть тепла, внесенного фильтрационным потоком (очевидно, около $70\text{—}80 \text{ квт.ч/м}^2$), затрачивается на оттаивание сезонномерзлого слоя.

Разведочными работами на золотоносных россыпях в долинах многих горных ручьев и малых рек надмерзлотные подрусловые талики конвективного прогревания прослежены на протяжении десятков километров в виде полосы или желоба неравномерной ширины преимущественно в пойме долины [5]. В благоприятных случаях протаивание сезонномерзлого слоя оканчивается в течение первого месяца действия активной фильтрации воды из реки, но может затянуться на два-три месяца, до конца лета. Иногда встречаются перелетки мерзлого слоя над таликами. Нижняя граница талика опускается в коренные породы на десятки метров, если талик существует сотни и тысячи лет, не перемещаясь по долине вслед за мигрирующим руслом. Под вновь появившимся таликом мерзлая толща коренных пород отступает весьма медленно, так как водопроницаемость этих пород обычно мала и конвективный перенос тепла на глубину очень слаб, а среднегодовая температура талика редко выходит за пределы $1\text{—}2^\circ\text{C}$.

В нижнем течении горных рек, обычно для горной зоны при площади водосбора более 3000 км^2 , уклоны тальвега долины становятся меньше $0,001$. Здесь в аллювии русловой фации представлены преимущественно мелкие галечники с супесчаным заполнением пор, водопроницаемость пород менее 30 м/сут . Скорость фильтрации в такой аллювии по уклону долины очень мала — около $0,03 \text{ м/сут}$, или всего около 3 м за теплый сезон. Действительное перемещение воды с учетом пористости за лето достигает лишь около 15 м . Например, в талике шириной 300 м и глубиной 10 м при коэффициенте фильтрации пород 20 м/сут и продольном уклоне $0,001$ общий расход фильтрационного потока равен $0,7 \text{ л/сек}$.

В этих условиях наступает постепенно предел существования таликов конвективного прогревания. Фильтрационный перенос тепла уже не обеспечивает сохранения положительных температур в аллювиальных отложениях, температура поверхности которых в среднем за год несколько ниже 0° . Лишь в отдельных местах на пойме или между излучинами и рукавами русла фильтрация достаточно интенсивна и в

аллювиальных песчано-галечных отложениях сохраняются талики, прогреваемые фильтрующей водой [7].

Вода надмерзлотного подземного стока вышележащих отрезков долины постепенно выходит в русло, питает в нем поверхностный сток в начале зимы или даже всю зиму. Иногда выход подруслового стока питает наледь. На смену конвективно прогреваемых таликов приходят собственно подрусловые талики. Они существуют под непромерзающей половиной русла, где дно имеет среднегодовую положительную температуру, обычно около $+1$ — $+3^{\circ}\text{C}$.

Утепляющая роль надмерзлотного стока здесь исчерпывается; внутренняя энергия воды, излившейся на поверхность и промерзающей в русле или наледи, передается в атмосферу; часть ее переносится поверхностным водотоком (рекой) к устью.

В зоне среднегодовых температур воздуха от -8 до -15°C при мощной редко прерывающейся многолетнемерзлой толще надмерзлотный подземный сток в целом проявляется в качестве утепляющего фактора на склонах большинства долин на разных абсолютных высотах — до 1500 м, причем решающую роль играют уклон фильтрационного тока, водопроницаемость водоносных пород, мощность фильтрующего слоя и, разумеется, среднегодовая температура поверхности горных пород.

Каждый фильтрующий подрусловый талик обуславливает осложнение температурного поля окружающих вечноммерзлых пород. Под таликом возможно уменьшение или увеличение градиента температуры, но сбоку, а для межмерзлотных таликов и сверху градиент температур всегда больше обычного.

Во время проходки подготовительных горных выработок по направлению возможных таликов, даже если талик может оказаться только в кровле (в торфах), необходимо периодически, через каждые 10 м, измерять естественную температуру горных пород за забоем, в конце горизонтального шпура длиной 1,2—1,5 м. Измерение должно быть сделано через 4 ч после бурения шпура, после полного рассеяния выделившегося тепла. Для измерений наиболее удобен термометр марки «психрометрический» в пластмассовой оправе с инерцией обкладки ртутного баллончика 20 сек. По изменениям температуры и ее значению можно заметить вступление горной выработки в зону относительно повышенных температур (выше -3°C). Повышение температуры более чем на $0,5^{\circ}$ на гори-

зонтальном участке протяжением 10 м — признак аномалий в температурном поле.

После вступления горной выработки в зону влияния талика требуется определение пространственного направления вектора теплового потока в мерзлой толще, то есть построение изотермических поверхностей и градиента температур по нормали к этим поверхностям. С этой целью подвигание забоя подготовительной выработки должно быть остановлено на 8 час. В породах необходимо пробурить четыре скважины, расположенные согласно рис. 6. Две длинные скважины глубиной не менее 3 м направлены наклонно вверх, в расходящемся направлении. Третья глубокая скважина направлена из нижней части забоя горизонтально или под небольшим углом вниз. Четвертая скважина, в качестве которой может быть пробурен обычный шпур, должна иметь глубину 1—1,2 м. В забой каждой скважины помещают термометр и измеряют температуру через 8 ч после окончания бурения. Измерение должно быть выполнено, с точностью $0,1^{\circ}\text{C}$. По измеренным наклону и глубине скважин составляется проекция скважин на вертикальную осевую плоскость, горизонтальную плоскость и поперечную плоскость (см. рис. 6). Точки расположения термометров на чертеже соединяют прямыми линиями и, пользуясь интерполяцией, засекают на этих шести линиях положения изотерм через $0,1$ или $0,2^{\circ}$. Шесть линий — ребра образуемого четырехгранника. Соединение равнозначных пересечений изотерм прямыми линиями дает представление о пространственной ориентации изотермических поверхностей, а следовательно, и о нормальном к ним направлении вектора теплового потока. Экстраполируя градиент за пределы четырехгранника, ограниченного построенными линиями (ребрами), можно грубо определить расстояние до граничной поверхности мерзлой зоны с таликом и одновременно принять соответствующие меры предосторожности или изменить направление подготовительных выработок.

Приближение горной выработки к водоносному талику возможно также установить методами геофизической разведки, в частности электрометрическим методом заряженного тела. Породы в пределах водоносного талика имеют меньшее омическое сопротивление по сравнению с мерзлым галечником. Заземлив один электрод в неглубокой скважине, пробуренной с поверхности в водоносном талике, а второй — в шпуре у забоя подготовительной выработки, нетрудно по

уменьшению сопротивления своевременно установить приближение горной выработки к талику.

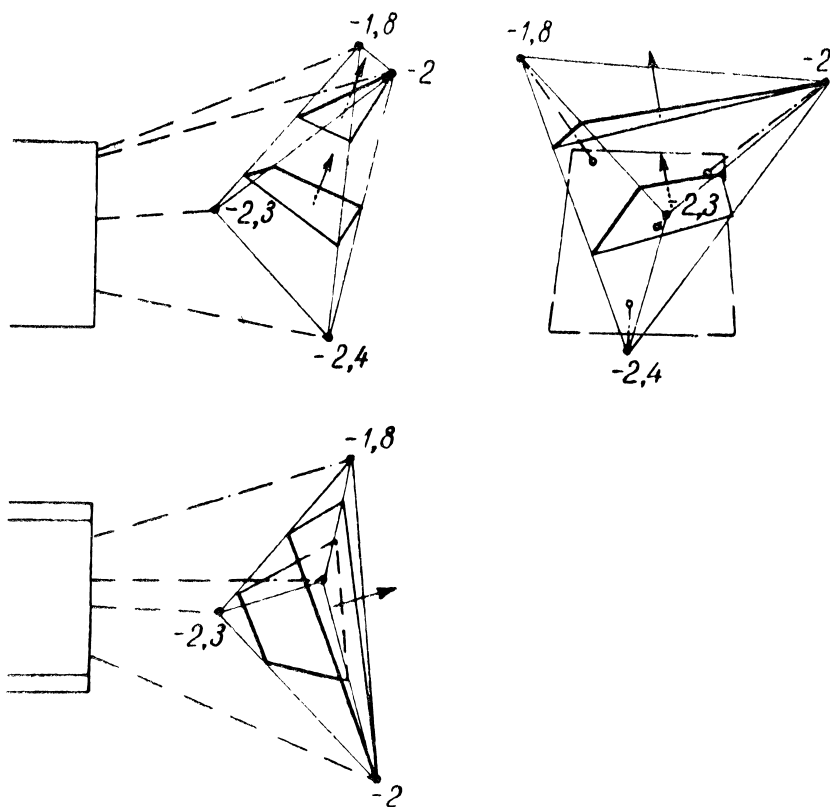


Рис. 6. Построение изотермических плоскостей по данным замера температуры пород в четырех точках перед забоем. Стрелкой указан найденный градиент температуры.

Дальнейшее изучение влияния подземных вод на температуру горных пород и форму природных водоносных таликов среди вечномёрзлой зоны является, очевидно, важной задачей в связи с определением условий питания и разгрузки подземных вод, проектированием горных работ на россыпных и рудных месторождениях Северо-Востока.

ЛИТЕРАТУРА

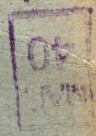
1. В. Г. ГОЛЬДТМАН, Е. В. СЕЗОНЕНКО. Температура и мощность многолетнемерзлой толщи. Тр. ВНИИ-1, т. XIX, Магадан, 1961.
 2. В. Г. ГОЛЬДТМАН. Исследование способов оттаивания вечноммерзлых грунтов. Тр. ВНИИ-1, т. XXIII, Магадан, 1963.
 3. Б. Г. ГРОМОВ. Физико-географическая характеристика бассейна р. Малый Аноуй. Сб. работ Магаданской гидрометеорологической обсерватории. Вып. 1. Гидрометеониздат, Л., 1965.
 4. Ю. Д. ДЯДЬКИН, А. Ф. ЗИЛЬБЕРБОРД, П. Д. ЧАБАН. Тепловой режим рудных, угольных и россыпных шахт Севера. Изд. «Наука», М., 1968.
 5. А. И. КАЛАБИН. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР. Тр. ВНИИ-1, т. XVIII, Магадан, 1960.
 6. А. В. ЛЫКОВ. Теория теплопроводности. Гостехиздат, М., 1952.
 7. И. А. НЕКРАСОВ. Талики речных долин и закономерности их распространения. Изд. «Наука», М., 1967.
 8. В. М. ПОНОМАРЕВ, Н. И. ТОЛСТИХИН. Подземные воды территории с многолетнемерзлыми горными породами. Кн. «Основы геокриологии». Изд. АН СССР, М., 1959.
 9. В. С. САВЕЛЬЕВ. Солифлюкция. Сб. «Вечная мерзлота Чукотки». Тр. СВКНИИ, вып. 10, Магадан, 1964.
 10. Н. М. ФРОЛОВ. Гидрогеотермия. Изд. «Недра», М., 1968.
 11. П. Ф. ШВЕЦОВ. Общие закономерности возникновения и развития многолетнемерзлой криолитозоны. Кн. «Основы геокриологии». Изд. АН СССР, М., 1959.
-

Сканирование - Беспалов, Николаева
DjVu-кодирование - Беспалов



500
7

20



Тираж 500.

Типография ВНИИ-1. Магадан, ул. Гагарина, 12.

В. Г. ГОЛЬДТМАН

**Влияние подземных вод на температуру
вечномерзлой толщи и таликов**

Магадан — 1969