

ВОДОНОСНЫЕ ТАЛИКИ В ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАСЕЙНА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ВИЛЮЙ

О. Е. Пономарева

Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия

В процессе геокриологических исследований в бассейне нижнего течения Вилюя на песчаных залесенных массивах, вне теплового влияния водотоков и водоемов были обнаружены надмерзлотные и внутримерзлотные водоносные талики. Они распространены в пределах слоя годовых колебаний температур. Зимой талики существуют в виде изолированных линз с напорными водами в понижениях кровли ММП. Летом воды таликов сливаются с водами деятельного слоя и формируют единый поток. Воды таликов пресные, гидрокарбонатные, кальциевые. Обсуждается генезис этих таликов, их связь с водами деятельного слоя.

Надмерзлотные талики, внутримерзлотные талики, воды деятельного слоя

AQUIFEROUS TALIKS IN SANDY SEDIMENTS ON THE LOWER REACHES OF THE VILYUI RIVER

O. E. Ponomareva

Earth Cryosphere Institute SB RAS, 625000, Tyumen, 1230, Russia

Supra- and intrapermafrost taliks were found on the lower reaches of the Vilyui river in the course of geocryological studies. They are situated on the forested sandy massif outside the ponds of thermal influence. They are spread within the layer of annual temperature fluctuations. In winter, taliks exist as isolated lenses with pressure waters. The taliks are located in downturn of a permafrost roof. In summer, talik waters mix with waters of an active layer and form a single flow. Talik waters are fresh, hydrocarbonate-calcium. Their genesis and interaction with waters of an active layer are discussed.

Suprapermfrost taliks, intrapermafrost taliks, active layer waters

ВВЕДЕНИЕ

Водоносные радиационно-тепловые талики в слое годовых колебаний температур были впервые обнаружены Н. П. Анисимовой [1970] в песчаных отложениях бассейна р. Лена. Их гидрогеологический режим и температурные особенности изучались на режимных площадках [Бойцов, Лебедева, 1989; Варламов и др., 1989] (рис. 1). Талики приурочены к пологим склонам. Их образование связано с особыми термовлажностными условиями, формирующимися на этих участках песчаных массивов.

Водоносные радиационно-тепловые талики в слое годовых колебаний температур в бассейне нижнего течения р. Вилюй были обнаружены сотрудниками ИКЗ СО РАН (см. рис. 1). Новые данные свидетельствуют о том, что образование радиационно-тепловых таликов в высокотемпературных песчаных отложениях Центральной Якутии — широко развитое явление и позволяют выявить некоторые региональные отличия между таликами бассейнов Лены и Вилюя.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

Район расположен в западной части республики Саха-Якутия, в центральной части Ви-

люйской синеклизы. Климат района резко континентальный, засушливый. Среднегодовая температура воздуха в г. Вилюйск равна $-9,3$ °С, а годовая амплитуда 56 °С. За год выпадает 310 мм осадков.

Осадки — один из ведущих факторов формирования выявленных таликов, поэтому рассмотрим режим их выпадения и схода снега детальнее. В теплый период года (с начала мая по конец сентября), выпадает 240 — 260 мм осадков, а в холодный — 50 — 70 мм. Устойчивый снежный покров образуется в начале октября, что по времени совпадает с началом сезонного промерзания грунтов. В феврале толщина снежного покрова максимальная ($0,49$ м), а к началу таяния, в первых числах мая составляет всего $0,01$ — $0,08$ м. Окончательное разрушение снежного покрова происходит за 3 — 5 дней. Из-за малой мощности снежного покрова количество талых вод невелико. Стремительное таяние снега приводит к тому, что талые воды быстро сходят даже с пологих склонов, задерживаясь только в понижениях рельефа. Количество дождевых вод практически совпадает с величиной испаряемости с поверхности почвы [Якутия, 1965], поэтому

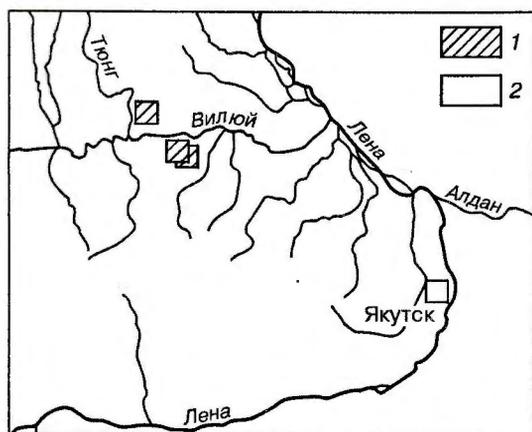


Рис. 1. Географическое положение участков детальных исследований и стационаров.

1 — участки детальных исследований ИКЗ СО РАН, 2 — стационар Института мерзлотоведения СО РАН.

на высоких гривах летняя влажность почв невелика.

Режим выпадения атмосферных осадков сильно меняется от года к году. Устойчивый снежный покров может образоваться то во второй декаде сентября, то в конце октября, а сойти — в середине либо в конце мая. В засушливые сезоны дождей может не быть в течение месяца, а во влажные сезоны за месяц может выпасть 2—3 нормы [Гаврилова, 1973].

Изменчивый метеорежим — одна из причин того, что начало, конец, длительность сезонного промерзания, мощность грунтов деятельного слоя, их влажность, площадь распространения вод деятельного слоя значительно меняются от года к году. Разница между максимальной и минимальной мощностью деятельного слоя в районе Якутска за период с 1983 по 1991 гг. составляла 0,27—0,44 м [Скрябин и др., 1998].

В районе исследований выделяются серия террас р. Вилюй и континентальные дельты его притоков. Поверхности их осложнены долинами многочисленных мелких водотоков, межгривными понижениями. Отрицательные формы рельефа, занимающие около 60 % площади, заболочены.

Поверхностные отложения на 15- и 60-метровых террасах Вилюй и континентальной дельте р. Тюнга имеют преимущественно песчаный состав. Генезис песков оценивается как эоловый [Колпаков, 1973], аллювиальный [Шепелев, 1981] или аллювиально-пролювиальный [Гравис, 1997].

На гривах песчаных массивов преобладают боровые сосняки, иногда с примесью листвен-

ницы. Отрицательные формы рельефа заняты травяными и моховыми болотами, лугами. Некоторые песчаные массивы или их части практически лишены растительности, их местное название — тукуланы.

Многолетнемерзлые породы (ММП) имеют сплошное распространение. Мощность криогенной толщи достигает 500 м, ее строение — одноярусное (только ярус промерзания) [Фотиев, 1978]. Мощность слоя годовых колебаний температур — 10—15 м [Скрябин и др., 1998], температура на подошве -4°C , а на песчаных массивах под боровыми сосняками она повышается до $-1,5^{\circ}\text{C}$. Подземные воды приурочены к деятельному слою и несвязным таликам. Воды в деятельном слое в песчаных отложениях встречаются практически повсеместно.

Воды в таликах развиты на песчаных террасах всех высотных уровней. Талики относятся к двум типам: гидрогенному и радиационно-тепловому. Гидрогенные развиты под руслом Вилюй, озерами, аласами [Фотиев и др., 1974; Анисимова, 1970]. Они хорошо изучены и в статье не рассматриваются. Радиационно-тепловые талики встречаются на тукуланах и на песчаных залесенных массивах. На тукуланах развиты только надмерзлотные талики. Они изучены достаточно хорошо [Шепелев, 1978; Фотиев и др., 1974, Скрябин и др., 1998]. Эти талики сформировались в эпоху голоценового оптимума. Сохранению реликтовых таликов способствуют эоловые процессы и отсутствие растительности, благодаря чему в талики с инфильтрующимися атмосферными осадками поступает тепло с поверхности, активно протекает конденсация водяных паров в зоне аэрации с выделением тепла. Максимальная мощность этих таликов достигает 60—150 м [Инженерная..., 1977]. Закрепление песков растительностью приводит к изменению теплового баланса толщи, перекрывающей талики, и постепенному промерзанию таликов.

На залесенных песчаных массивах талики изучены значительно слабее: известны пока только на 15-метровой правобережной террасе р. Вилюй. Данные о них приводятся в отчетах А. П. Потапова, Н. П. Пантова, Г. М. Зверева, Е. Е. Жиркова, А. С. Зарубина. Талики — внутримерзлотные, так как их кровля залегает на глубинах 7—9 м, а подошва — на 20—113 м. С точки зрения В. В. Шепелева [1978], они представляют собой фрагменты реликтового талика, сформировавшегося на тукуланах и начавшего промерзать после закрепления песков растительностью.

Помимо глубоких реликтовых таликов на песчаных массивах развиты современные радиационно-тепловые талики в слое годовых колебаний температуры. Они будут рассмотрены ниже.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

На континентальной дельте р. Тюнга выполнялись инженерно-геологические и гидрогеологические исследования, на 15- и 60-метровых террасах — только гидрогеологические.

На континентальной дельте р. Тюнга было пробурено 50 скважин (преимущественно десятиметровых) с отбором проб для определения свойств пород и состава подземных вод. Они располагались по профилям через 100—150 м, таким образом, чтобы охватить все разнообразие ландшафтов и фациальных условий. В 23 скважинах проводились температурные измерения с трехкратной повторностью. Для сопоставления разновременных замеров полученные данные приводились к единой дате — окончания полевых исследований — 30 июня. Для выполнения этой операции привлекались результаты режимных наблюдений в четырех опорных скважинах. Вдоль профиля были выполнены промеры глубины протаивания грунтов деятельного слоя. Максимальная мощность деятельного слоя определялась расчетным путем по методике А. В. Павлова [1984]. В основу расчета были положены данные разновременных (за весь июнь) промеров глубин протаивания. Опробование ММП выполнялось для определения суммарной влажности пород и состава водной вытяжки. Для определения суммарной влажности пород пробы отбирались в каждой скважине с интервалом 0,5 м. На водную вытяжку пробы пород отбирались в опорных скважинах из каждой фациальной разновидности пород, но не реже чем через 1,0 м. В большинстве скважин, вскрывших водоносные горизонты, отбирались пробы воды для определения химического шестикомпонентного состава.

На 15- и 60-метровых террасах проводилось бурение скважин (6 скважин было пробурено на 15-метровой и 4 — на 60-метровой террасе) для выявления таликов и опробования их вод на химический состав.

Кроме того, на 15-метровой террасе и континентальной дельте р. Тюнга отобраны пробы поверхностных вод.

Химические анализы воды и пород на водную вытяжку выполнялись в лаборатории ВСЕГИНГЕО.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Континентальная дельта Тюнга. По величине максимальной мощности деятельного слоя на песчаном массиве выделяются три типа участков. К первому типу относятся участки с мощностью деятельного слоя 1,6—2,5 м. Они приуро-

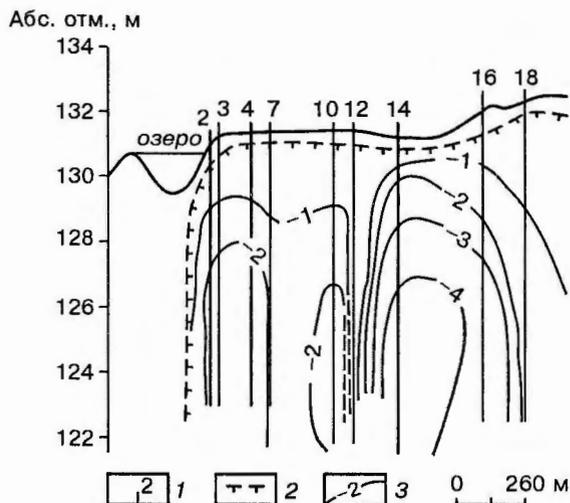


Рис. 2. Фрагмент температурного профиля через континентальную дельту р. Тюнга (на 30 июня).

1 — скважина, ее номер, 2 — подошва деятельного слоя, 3 — изотерма ($^{\circ}\text{C}$).

чены к гривам под борвыми сосняками и сосново-лиственничными лесами с разреженным напочвенным покровом и влажностью песков 13—16%. На участках второго типа мощность деятельного слоя 0,9—1,5 м. Это более низкие гривы под лиственничниками с различными типами напочвенных покровов и влажностью песков 21%. На участках третьего типа — в межгрядных понижениях — мощность деятельного слоя составляет 0,3—0,8 м. Деятельный слой здесь представлен оторфованными песками с влажностью 21%.

Типы участков существенно различаются и по температурам пород в пределах верхней десятиметровой толщи, поэтому температурное поле песчаного массива (30 июня) имело сложную структуру (рис. 2).

Фоновая температура ММП на глубине 10 м изменялась от $-2,8$ до -4 $^{\circ}\text{C}$ (по замерам в 18 скважинах из 23). Только в 5 скважинах на той же глубине температура пород не превышала значений $-0,8$ (скв. 12) и $-1,8$ $^{\circ}\text{C}$ (скв. 7, 18) (см. рис. 2). Эти скважины расположены на гривах под борвыми сосняками с разреженным напочвенным покровом в верхних частях грив под лиственничниками. Именно в пределах таких участков и были обнаружены талики.

Из 19 скважин, пройденных на гривах, в четырех (1а, 5, 46, 47, рис. 3) были вскрыты обводненные талики. Кровля таликов залегала на глубинах от 1,2 до 1,5 м. Расчетная максимальная мощность деятельного слоя составляет

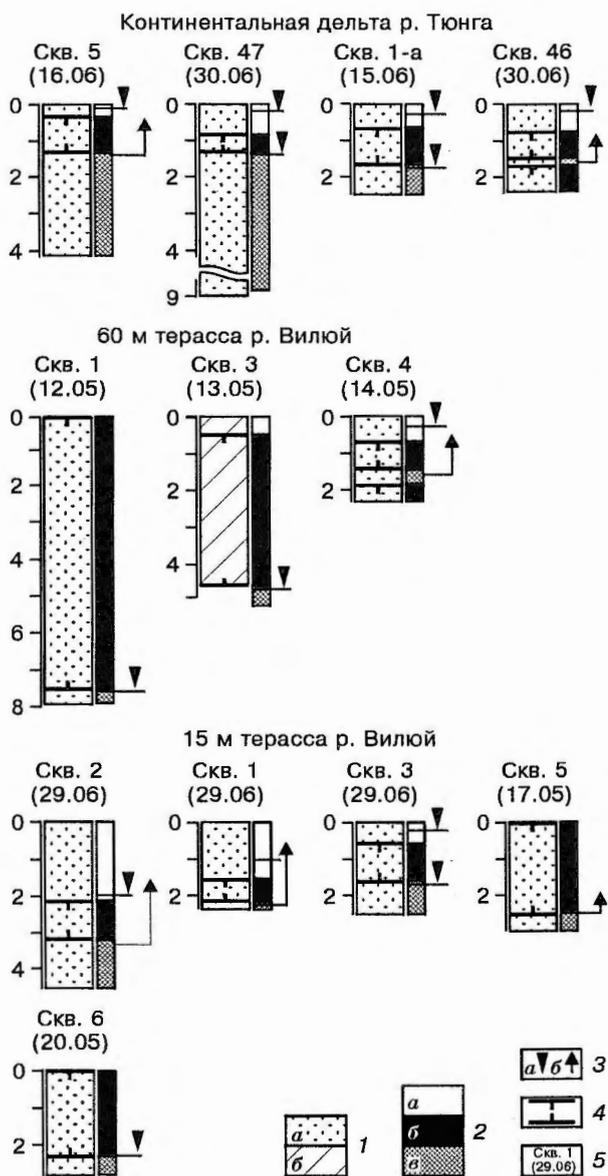


Рис. 3. Схематические разрезы по скважинам.

1 — литологический разрез: пески (а), переслаивание супесей и суглинков (б); 2 — геокриологический разрез: деятельный слой (а), криогенный водоупор (б), талик (в); 3 — уровень подземных вод: безнапорных (а), напорных (б); 4 — верхняя и нижняя границы криогенного водоупора; 5 — номер скважины и дата ее проходки.

0,75—1,8 м, и поэтому выявленные талики располагаются непосредственно под подошвой деятельного слоя. Вскрытая мощность талика составляет 0,8 (скв. 1-а), 2,6 (скв. 5) и 7,8 м (скв. 47). Скважиной 46 талик пройден на полную мощность, так как она равна всего 0,3 м. Напор имели воды, вскрытые скважинами 5 и 46.

В химическом составе вод таликов есть некоторые отличия (таблица): сульфат-ион был обнаружен лишь в водах из скв. 5, а воды из двух других скважин различаются по минерализации.

Скважины, вскрывшие надмерзлотные талики, были расположены вдоль пологого склона гряды. Расстояние между нижней и верхней скважинами составляет 250 м. Учитывая близкое расположение скважин можно было бы предположить, что ими вскрыт единый талик. Тем не менее, указанные различия в мощности, напоре воды и некоторые отличия в их химическом составе свидетельствуют о том, что пробы были отобраны из разных таликов, между которыми во время отбора отсутствовала гидравлическая связь. Талики, скорее всего, представляют собой ограниченные по площади линзы. Следует отметить, что, несмотря на некоторые различия, воды этих таликов имеют близкий состав, мало отличающийся от состава вод деятельного слоя (см. таблицу). Воды пресные (минерализация от 0,04 до 0,07 г/л), гидрокарбонатные натриево-кальциевые или кальциевые. Сходство состава указывает на то, что ежегодно после протаивания грунтов деятельного слоя, воды деятельного слоя и таликов образуют единый горизонт. Разобщение этих горизонтов происходит лишь после промерзания грунтов деятельного слоя.

Необходимо подчеркнуть, что все талики были обнаружены на пологих склонах гряд под лиственничниками и на высокой гряде под борovým сосняком.

15-метровая терраса Вилюя. Пятью скважинами были вскрыты талики в слое годовых колебаний температуры. Три из них были расположены на пологих склонах гряд в борových сосняках с разреженным напочвенным покровом и две — на нижней части склона гряды в березняке. В четырех из них воды были напорными. Кровля таликов залегала на глубине 2,0—3,2 м. Максимальная мощность деятельного слоя составляет здесь 1,8—3,5 м. Таким образом, все талики являются надмерзлотными. Их подошва залегает не глубже 7—9 м, так как известно, что на этих глубинах залегает кровля ММП, перекрывающих межмерзлотный реликтовый талик.

60-метровая терраса Вилюя. Три скважинами (1, 3, 4) были вскрыты талики в слое годовых колебаний температуры (см. рис. 3). Все скважины были заложены на пологих склонах в борových сосняках с разреженным напочвенным покровом. Кровля таликов по данным этих скважин залегала на глубинах 3,3—7,25 м.

Талики, вскрытые скважинами 1 и 3, являются внутримерзлотными, так как залегают ниже подошвы деятельного слоя. Талик, вскрытый скв. 4, — надмерзлотный, так как его кровля

Химический состав природных вод

№ скв.	Глубина отбора, м	Минерализация, г/л	Содержание основных ионов, %							
			HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Na+K ⁺	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	NH ₄ ⁺ и др.
<i>Воды надмерзлотных таликов (континентальная дельта)</i>										
1а	1,8	0,04	71	25	0	4	64	18	18	
5	1,5	0,07	72	22	5	1	65	23	12	
46	1,65	0,07	80	16	0	4	38	45	17	
<i>Воды надмерзлотных таликов (60-метровая терраса Вилюя)</i>										
1	7,25	0,04	80	20	0	Не опр.	76	22	0	2
3	4,62	0,03	74	26	0	Не опр.	43	57	0	0
4	2,7	0,04	82	18	0	Не опр.	72	20	0	8
<i>Воды деятельного слоя</i>										
	0,5	0,03	61	32	0	7	77			23
	0,5	0,03	61	21	0	18	50			27

расположена непосредственно под подошвой деятельного слоя, на глубине 3,3 м. Вскрытая мощность таликов более 0,8 м. Воды в них имеют низкую минерализацию 0,03—0,04 г/л. В ее составе доминируют гидрокарбонат-ионы, натрий-ионы, или ионы кальция, а сульфат- и магний-ионы отсутствуют (см. таблицу). Состав воды в этих таликах близок к составу вод таликов континентальной дельты р. Тунга и отличается лишь отсутствием ионов магния. Отсутствие ионов магния в водах деятельного слоя связано с тем, что их нет в поверхностных отложениях этого песчаного массива и в меловых песках, слагающих местную область сноса.

Необходимо отметить, что мерзлые породы деятельного слоя характеризуются низкой (10—12 %) суммарной влажностью, а в отдельных прослоях она всего 3—4 %.

Талики на высоких гривах под боровыми сосняками с разреженным напочвенным покровом (или его отсутствием) формируются за счет конвективного переноса тепла инфильтрующимися дождевыми водами. В начале лета, когда грунты деятельного слоя иссушены (как было отмечено выше), тепло с инфильтрующимися осадками проникает до криогенного водоупора, обеспечивая быстрое понижение кровли криогенного водоупора. Во вторую половину лета в понижениях, образовавшихся на кровле водоупора, накапливаются значительные запасы вод деятельного слоя. Между высокими гривами и тукуланами просматривается определенное сходство. На тукуланах тепла, поступающего с инфильтрующимися дождевыми водами, достаточно для сохранения от промерзания пород водоносного реликтового талика, сформировавшегося еще в период голоценового оптимума.

Талики на пологих склонах формируются за счет конвективного переноса тепла потоком вод деятельного слоя, поступающего с высоких грив. Поток формируется постепенно. Ранней весной

воды деятельного слоя существуют в виде отдельных линз в понижениях на кровле криогенного водоупора. Затем они образуют узкие полосы, вытянутые вдоль пологих склонов грив, из которых формируется единый поток. Во второй половине июня воды в деятельном слое уже имеют площадное залегание. Они вскрывались шурфами и скважинами на всех участках склонов грив. Их уровень во второй половине июня наблюдался на глубине 0,2—0,3 м.

При промерзании пород деятельного слоя на гривах площадь распространения и мощность водоносного горизонта на склонах постепенно уменьшаются. Меняется и форма его залегания. Единый горизонт распадается на отдельные полосы, которые приурочены к участкам наиболее глубокого оттаивания пород деятельного слоя. При дальнейшем снижении уровня подземных вод и промерзании водовмещающих пород на склоне сохраняются лишь изолированные водоносные линзы, приуроченные к таликам. Судя по проведенным наблюдениям, некоторые из них могут сохраняться в течение всей зимы. Этому способствует развивающийся в них напор. На нижних участках склонов в результате реализации напора образуются бугры пучения. Такие бугры были отмечены на всех песчаных массивах.

Талики в межгривных понижениях обнаружены не были.

Расположение таликов в пределах слоя годовых колебаний температуры предопределяет изменчивость их размеров во времени. Метеорологические условия непосредственно сказываются на размерах надмерзлотных таликов и мощности обводненной зоны в них. Их влияние на размеры внутримерзлотных таликов сказывается опосредованно, через мощность потока подземных вод, формирующихся на высоких гривах в надмерзлотных таликах. К числу факторов, оказывающих определяющее влияние на размеры

таликов, относятся количество инфильтрующихся дождевых вод и мощность снежного покрова. Мощный снежный покров, по данным А. В. Павлова (устное сообщение), приводит к образованию надмерзлотного талика даже в относительно низкотемпературных суглинках на стационарной площадке в районе Якутска. В высокотемпературных породах влияние снежного покрова еще значительнее.

ВЫВОДЫ

Наблюдения, выполненные на песчаных массивах в бассейне р. Вилюй, позволяют сделать следующие выводы.

1. Песчаные массивы в пределах континентальной дельты р. Тюнга, 15- и 60-метровые террасы Вилюя характеризуются азонально высокими температурами ММП.

2. Температурное поле этих массивов имеет сложную структуру. Участки с повышенной температурой ММП ($-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) приурочены к высоким гривам под боровыми сосняками с разреженным напочвенным покровом. На пологих склонах и в межгивных понижениях температура пород ниже.

3. Надмерзлотные талики формируются на высоких гривах под боровыми сосняками, где деятельный слой мощностью до 2,5 м сложен маловлажными песками. Они формируются за счет конвективного переноса тепла инфильтрующимися дождевыми водами.

4. Над- и внутримерзлотные талики приурочены к пологим склонам. Они формируются за счет конвективного переноса тепла потоком вод деятельного слоя.

5. Широкое развитие таликов на вершинах гив характерно только для бассейна Вилюя. В бассейне Лены они формируются только на пологих склонах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 97-05-65600 и грант 98-05-64540).

Литература

- Анисимова Н. П. Формирование химического состава подземных вод таликов. На примере Центральной Якутии. М., Наука, 1970, 196 с.
- Бойцов А. В., Лебедева Т. Н. Водный режим песчаных грунтов слоя сезонного протаивания в Центральной Якутии // Мерзлотно-геологические исследования зоны свободного водообмена. М., Наука, 1989, с. 27—38.
- Варламов С. П., Скачков Ю. Б., Скрябин П. Н. О формировании теплового режима надмерзлотного талика // Мерзлотно-геологические исследования зоны свободного водообмена. М., Наука, 1989, с. 38—47.
- Гаврилова М. К. Климат Центральной Якутии. Якутск, 1973, 120 с.
- Гравис Г. Ф. Роль флювиальных процессов в развитии пород ледового комплекса // Криосфера Земли, 1997, т. 1, № 2, с. 56—59.
- Инженерная геология СССР. Т. 3. Восточная Сибирь. М., Изд-во МГУ, 1977, 660 с.
- Колпаков В. В. Палеогеографическое значение четвертичных эоловых отложений севера Восточной Сибири // Некоторые вопросы региональной геологии. М., Изд-во МГУ, 1973, с. 38—42.
- Павлов А. В. Энергообмен в ландшафтной сфере Земли. Новосибирск, Наука, 1984.
- Скрябин П. Н., Варламов С. П., Скачков Ю. Б. Межгодовая изменчивость теплового режима грунтов района Якутска. Новосибирск, Наука, 1998, 143 с.
- Фотиев С. М. Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР. М., Наука, 1978, 236 с.
- Фотиев С. М., Данилова Н. С., Шевелева Н. С. Геокриологические условия Средней Сибири. М., Наука, 1974, 147 с.
- Шепелев В. В. О режиме, балансе и особенностях питания межмерзлотных вод песчаных массивов Центральной Якутии // Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. Якутск, Изд-во Ин-та мерзлотовед. СО АН СССР, 1978, с. 145—162.
- Шепелев В. В. Подземные воды тукуланов Центральной Якутии // Эоловые образования Центральной Якутии. Якутск, Изд-во Ин-та мерзлотовед. СО АН СССР, 1981, с. 30—41. Якутия. М., Наука, 1965, 467 с.

Поступила в редакцию
10 июня 1999 г.