Криосфера Земли, 2001, т. V, № 1, с. 37—43

УДК 551.345

СЕЗОННОЕ ПРОТАИВАНИЕ ГРУНТОВ ХАННЯ-НАКЫНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (*Западная Якутия*)

П. С. Заболотник

Институт мерзлотоведения СО РАН им. акад. П. И. Мельникова, 677010, Якутск, Россия

Содержатся результаты многолетних геокриологических исследований на малоизученной территории, в пределах которой находятся недавно открытые алмазоносные месторождения (трубки Ботуобинская и Нюрбинская). Приведены новые многочисленные данные о составе и мощности грунтов деятельного слоя на различных элементах рельефа. Дана характеристика наиболее распространенных ландшафтов и проведено сопоставление глубин протаивания на них как в естественных условиях, так и при пирогенных нарушениях. Выявлено, что мощность сезонноталого слоя изменяется от 0,43 м под моховым покровом в суглинках до 2,04 м в песчано-гравийно-галечных отложениях. Расчетным путем установлено, что за более чем 30-летний период (1966—1997 гг.) мощность сезоннопротаивающего слоя в среднем уменьшилась на 4,5 %, а ее изменчивость в отдельные годы достигала ±7—10 %.

Криолитозона, многолетнемерзлые породы, температура, геокриологические условия, глубина сезонного протаивания, сезоннопротаивающий (деятельный) слой

SEASONAL THAWING OF SOILS IN THE HANNYA-NAKYN INTERFLUVE (*Western Yakutia*)

P. S. Zabolotnik

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 677010, Yakutsk, Russia

The paper contains results of long-term geocryological investigations on the poorly studied territory characterized by the presence of the recently discovered diamond deposits (Botuobinskaya and Nyurbinskaya pipes). A large volume of data on composition and thickness of the active layer for various relief elements is presented. The most typical landscape types are characterized and the depths of thaw for undisturbed areas and sites of pyrogenic disturbance are given. It is found that the seasonal thaw layer thickness ranges from 0.43 m in loams under the moss cover to 2.04 m in sandy-gravel-pebble deposits. Estimations have shown that for more than a 30-year period (1966—1997) the seasonal thaw layer thickness reduced on average by 4.5 % and its variability reached ±7—10 % in different years.

Permafrost zone, perennially frozen ground, temperature, geocryological conditions, depth of seasonal thawing, active layer

ВВЕДЕНИЕ

Исследуемый район находится в восточной части Вилюйского плато на стыке с Центрально-Якутской равниной в 140—220 км южнее Северного полярного круга и занимает площадь около 7 тысяч квадратных километров. В настоящее время начато активное хозяйственное освоение открытых здесь алмазоносных месторождений Ботуобинское и Нюрбинское, что вызвало интерес к изучению криолитозоны как самих трубок, так и прилегающих к ним территорий. Геокриологические исследования в этом районе проводились автором в составе Западно-Якутской гидрогеологической партии Ботуобинской геолого-разведочной экспедиции (ГРЭ) Акционерной компании „Алроса“ в 1996—1998 гг.

Геологическое строение региона определяется его положением в зоне перехода от Анабарской антеклизы к Вилюйской синеклизе, где широко распространены терригенно-карбонатные породы палеозоя, перекрытые отложениями юры. Юрские породы представлены алевролитами, аргиллитами, глинами, песчаниками, известняками и конгломератами [*Геологическая..., 1978*]. Венчают разрез четвертичные отложения небольшой (2—6 м) мощности. Они относятся в основном к аллювиальным, озерно-болотным и склоновым образованиям.

В рельефе местности чередуются почти горизонтальные плакоры и широкие плоскодонные лощины. Днища низин заняты марями, среди которых прослеживаются мелкие водотоки с нечетко выраженным руслом. Склоны этих долин и вершины плакоров характеризуются широким распространением лиственничных лесов с многочисленными горелыми участками (гарями). Местами наблюдаются восстанавливающиеся лиственничники, как правило, большой густоты.

© П. С. Заболотник, 2001

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КРИОЛИТОЗОНЕ

Район характеризуется суровыми климатическими условиями. За 20-летний период наблюдений (1966—1985 гг.) на расположенной в 30 км от южной границы изучаемой территории метеостанции Чумпурук средняя температура воздуха составляла: за год −10,6 °С, самого холодного месяца (январь) −39,0 °С, а самого теплого (июль) 16,6 °С [*Справочник..., 1989*].

Многолетнемерзлые породы (ММП) установлены на всех элементах рельефа. Все исследователи, отразившие описываемый район на геокриологических картах, единодушны в том, что ММП и зона отрицательных температур (криолитозона) имеют непрерывное [*Соловьев, 1989*], сплошное [*Баранов, 1960, 1977; Мельников, 1970*] или преимущественно сплошное [*Геокриологическая..., 1996*] распространение. Достоверных сведений о наличии таликов нет. Можно лишь предположить, что они есть под руслами рек Мархи и Хання и под некоторыми крупными и глубокими озерами. Вероятнее всего, талики несквозные.

Основной особенностью региона является то, что под сцементированной льдом мерзлой толщей (собственно ММП) находится зона охлажденных ниже 0 °С горных пород с высокоминерализованными подземными водами. Поэтому мощности ММП и криолитозоны здесь существенно отличаются.

Кондиционных данных о мощности ММП нет. Из устных сообщений буровиков Ботуобинской ГРЭ известно лишь, что она повсюду превышает 200 м. Тем не менее оценку ее предельных значений можно сделать на основе анализа обзорных геокриологических карт. По карте П. А. Соловьева [*1970*] мощность мерзлой толщи изменяется от 300 до 600 м и более, по картам И. Я. Баранова [*1960, 1977*] — от 300 до 400 м, а по Геокриологической карте СССР [*1996*] — от 400 до 500 м. По расчетам В. Т. Балобаева [*1991*] мощность стационарной мерзлой толщи должна достигать 500—700 м.

Что касается глубины проникновения отрицательных температур или мощности криолитозоны, то она определяется более достоверно, поскольку имеются измерения температуры горных пород не только на окружающих территориях, но и непосредственно на исследуемых участках. В обобщенном виде такая информация содержится на геокриологических картах [*Мельников, 1970; Баранов, 1977; Соловьев, 1989; Кондратьева, 1998*], согласно которым мощность криолитозоны изменяется от 500 до 1000 м. По данным гидрогеологов Ботуобинской ГРЭ, а также по нашим измерениям в разведывательных скважинах отрицательные температуры горных пород прослеживаются до глубины 650—700 м.

Температура ММП на глубине 20 м, где обычно уже затухают годовые колебания температуры, характеризуется относительно низкими значениями. Так, на обзорных картах, таких, как вышеупомянутые геокриологические карты Якутской АССР [*Мельников, 1970*] и СССР [*Баранов, 1960, 1977*], ее значения находятся соответственно в пределах −4 ÷ −6 и −3 ÷ −5 °С. На Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР [*1991*] приводятся диапазоны изменения температуры для плакорных типов местности (−0,5 ÷ −6 °С), для склоновых (до −8 °С) и для долинных (−1 ÷ −8 °С). На карте температурных макрозон Средней Сибири исследуемый район входит в обширную зону со средними годовыми температурами ММП от −1 до −4 °С [*Кондратьева, 1989*], на карте В. Т. Балобаева [*1991*] его пересекает изолиния −4 °С, а на Геокриологической карте СССР [*1996*] в его пределах выделены участки с преобладающими температурами от −1 до −3 и от −2 до −4 °С. По нашим измерениям, проведенным почти в двадцати глубоких скважинах, температура ММП изменяется на трубке Ботуобинская от −2,0 до −3,5 °С, а на Нюрбинской — от −0,7 до −1,9 °С.

Разнообразны сведения и о глубине сезонного протаивания грунтов или сезонноталого слоя (СТС). Например, у И. Я. Баранова фигурируют значения 0,5—2,0 [*1960*] и 0,8—2,0 м [*1977*]. С. И. Заболотник [*1984, 1991*] приводит величины СТС для песков от 1,9 до 2,5 м, а для суглинков — 1,2—1,6 м. П. А. Соловьев [*1966, 1970, 1978, 1989; Мерзлотные..., 1989*] дает минимальную, среднюю и максимальную глубины сезонного протаивания грунтов, которые составляют: для торфа — 0,2, 0,6, 0,8; для оторфованных суглинков — 0,3, 1,0, 1,2; для супесей и суглинков — 0,5, 1,3, 1,5; для песков — 1,3, 2,2, 2,5 м. В целом эти данные близки к полученным нами результатам [*Заболотник, 1999*] и отличаются в основном максимальными и минимальными предельными значениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сезонное протаивание грунтов в естественных условиях начинается после схода снежного покрова, обычно в первой декаде мая, и продолжается до конца сентября, когда мощность оттаявшего слоя достигает своего максимума.

Анализ измерений средних месячных температур воздуха на близрасположенной метеостанции Чумпурук с 1966 по 1997 г. [*Справочник..., 1989; Метеорологические..., 1986—1998*] показывает, что за более чем 30-летний период грунты начинали оттаивать существенно раньше только в 1997 г. и, наоборот, позже — в 1992 г.

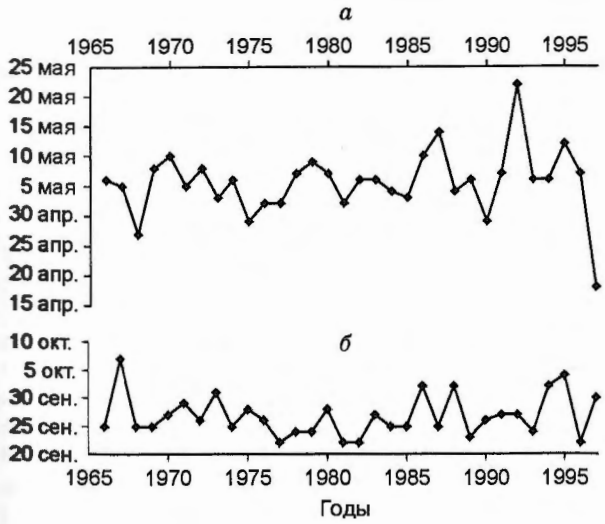

Рис. 1. Сроки начала сезонного протаивания (*а*) и промерзания грунтов (*б*).

В остальные годы отклонения незначительны (рис. 1,*а*).

Сезонноталый слой начинает промерзать сверху в конце сентября—начале октября, причем отклонения от среднего незначительны (см. рис. 1,*б*).

Определения глубины сезонного протаивания грунтов проводились нами в 1996—1998 гг. при проходке шурфов или с помощью мерзлотного щупа [*Методика..., 1979*]. Максимальная за сезон мощность СТС определялась либо визуально в шурфах криотекстурным методом [*Полевые..., 1961*], либо по кривой интенсивности, полученной по данным наблюдений на м/ст. Чумпурук. Эта кривая рассчитана по осредненным за 20 лет (1966—1985 гг.) температурам воздуха на основе использования формулы Стефана. Методика расчета подробно изложена в статье С. И. Заболотника [*1966*].

Для сравнения нами также приводится обобщенная кривая А. В. Павлова [*1979*], полученная им для различных районов (Европейский север, север Западной Сибири, Центральная Якутия). Сопоставление приведенных кривых показывает, что в исследуемом регионе в первые месяцы интенсивность протаивания на 6—9 % больше, чем в остальных (рис. 2).

При проведении исследований мы старались по мере возможности провести замеры на всех основных элементах рельефа. При этом выбирались как типичные участки, так и со специфичными ландшафтно-грунтовыми условиями. В целом нами было сделано около 350 измерений (таблица).

Наибольшие глубины сезонного протаивания грунтов наблюдались на плакорах, где развиты супесчаные, песчаные и песчано-галечные верхнечетвертичные—современные элювиальные образования. В таких местах, как правило, произрастает редкий березово-лиственничный лес, иногда встречаются одиночные сосны. Напочвенный покров представлен в основном ягелем, реже толокнянником и брусничником. Мощность сезонноталого слоя здесь колеблется от 0,90 до 2,04 м, составляя в среднем 1,41 м. На гарях глубина сезонного протаивания грунтов должна быть больше, чем в естественных условиях. Однако нам удалось провести измерения только на трех таких участках, причем изначально не с самой большой величиной оттаивания. Поэтому по единичным измерениям максимальные значения мощности СТС на гарях оказались несколько меньшими. Тем не менее в среднем они все-таки почти на 10 % больше, чем на ненарушенных территориях (см. таблицу).

Плакорные пространства, на которых распространены верхнечетвертичные—современные покровные суглинки, обычно покрыты достаточно густым лиственничным лесом с подростом, кустарниками и кустарничками, изредка с единичными березами. Напочвенный покров состоит из мхов и лишайников. В таких условиях глубина сезонного протаивания грунтов в среднем не превышает 1,0 м, а на гарях — увеличивается почти на 25 % (см. таблицу).

Плоские и слабовогнутые части водоразделов чаще всего заболочены. На них развит лиственнично-березовый лес с явным преобладанием березы белоствольной. Часты небольшие по размеру (20 × 30 м) заболоченные термокарстовые котловины с кочкарником, заросшие осоковым разнотравьем и мхами. Озерно-болотные и элювиальные отложения представлены торфом, ила-

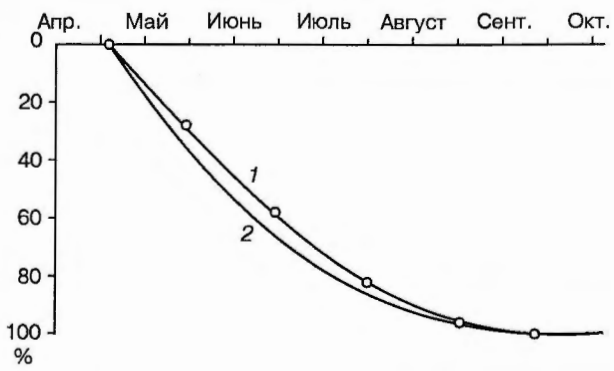

Рис. 2. Кривые интенсивности сезонного протаивания грунтов.

1 — расчетная кривая по данным м/ст. Чумпурук, *2* — обобщенная кривая по А. В. Павлову [*1979*].

Максимальная мощность СТС на различных элементах рельефа

Элементы рельефа		Состав отложений	Преобладающая растительность	Мощность СТС, м*	
				в естеств. условиях	на гарях
Водоразделы	сухие	Гравийно-галечные, песчаные и супесчаные	Редкий березово-лиственничный лес, кустарнички, лишайники	0,90 – 2,04 / 1,41 (15)	1,47 – 1,58 / 1,53 (3)
		Суглинки	Густой лиственничный лес, подрост, кустарники, кустарнички, мхи, лишайники	0,52 – 1,37 / 0,97 (80)	0,62 – 2,11 / 1,21 (64)
	заболоченные с термокарстом	Суглинок	Лиственнично-березовый лес, разнотравье, мхи	0,78 – 1,58 / 1,16 (21)	1,45 (1)
		Торфяник	Мхи	0,68 (1)	—
Склоны южной экспозиции	пологие, <10°	Пески, супеси	Лиственничный лес, подрост, кустарники, кустарнички, мхи, лишайники	1,24 – 1,96 / 1,51 (3)	—
		Суглинки		0,61 – 1,39 / 1,00 (23)	0,97 – 1,19 / 1,06 (3)
	крутизна 10—30°	Дисперсные	Ед. лиственницы, кустарнички; местами мхи, оголенный грунт	1,05 – 1,55 / 1,22 (4)	—
Склоны северной экспозиции	пологие, <10°	Пески, супеси	Лиственничный лес, подрост, кустарники, кустарнички, мхи, лишайники	1,00 – 1,73 / 1,43 (11)	—
		Суглинки		0,43 – 0,98 / 0,77 (27)	0,92 – 1,13 / 1,06 (6)
	крутизна 10—30°	Дисперсные	Ед. лиственницы, кустарнички; местами мох, оголенный грунт	0,72 (1)	—
Днища долин	дренированные	Суглинки, супеси	Ед. лиственницы и березы, ерники, мхи	0,82 – 1,43 / 1,14 (14)	—
	занятые марями	Оторфованные суглинки и супеси, ил, торф	Ерники, осоковое разнотравье, мхи	0,52 – 1,56 / 0,90 (35)	—
Низкие речные террасы		Оторфованные суглинки, супеси и пески	Елово-лиственничный лес, подрост, кустарники, кустарнички, мхи	0,45 – 1,39 / 0,81 (21)	—
		Илы и торф, иногда с галькой	То же и густые заросли кустарников	0,51 – 0,90 / 0,73 (16)	—

* В числителе — минимальные и максимальные значения мощности СТС, в знаменателе — средняя величина, в скобках — количество точек наблюдений.

ми и суглинками. Как правило, грунты переувлажнены и находятся в тиксотропном состоянии. Глубина сезонного протаивания суглинков составляет в среднем 1,16 м и не превышает 1,6 м, хотя в некоторых случаях под зеркалом воды она может достигать и больших величин. В торфянике мощность СТС (единичное измерение) была равна 0,68 м.

В связи с тем, что возвышенные пространства длительное время подвергались эрозионному сносу, в районе исследований наиболее распространены пологие склоны, крутизна которых не превышает 10°. В верхнечетвертичных—современных делювиальных суглинках максимальная глубина сезонного протаивания изменяется от 0,77 м на склонах северной экспозиции до 1,00 м — на склоне южной экспозиции. В супесчано-песчаных грунтах эти величины составляют соответственно 1,43—1,51 м. На участках гарей, занятых возобновляющимся лесом, величина сезонного протаивания грунтов практически не зависит от ориентации склонов, что объясняется большой затененностью поверхности густым подростом лиственницы (см. таблицу).

На склонах средней крутизны (10—30°) и крутых (>30°), которые, как правило, развиты только у эрозионных речных террас, обнажаются сильно дезинтегрированные коренные породы (юрские известняки, доломиты, мергели и ордовикские песчаники, известняки). Данные о глубине их сезонного протаивания пока отсутствуют. В тех же случаях, когда скальные породы перекрыты коллювиально-делювиальными дисперсными отложениями (щебенистые и дресвяно-щебенистые грунты с суглинистым и глинистым заполнителем), несмотря на небольшое

количество точек наблюдений, видно заметное увеличение глубины протаивания на склонах южной экспозиции по сравнению с северной (1,22 и 0,72 м соответственно).

Относительно небольшие средние значения глубины сезонного протаивания грунтов установлены под марями в лощинах и в долинах малых водотоков. На них развиты ерниково-моховые и ивово-осоковые растительные группировки. Это в первую очередь связано с большой влажностью аллювиально-озерно-болотных отложений, которые представлены торфами, илами, оторфованными супесями и суглинками с редкими включениями слабоокатанной гальки. Промеры щупом глубины залегания границы талых и мерзлых пород показывают, что она составляет в среднем 0,90 м. На дренированных участках днищ долин мощность СТС возрастает в среднем до 1,14 м (см. таблицу).

Особо следует выделить низкие террасы рек Мархи, Ханни и их крупных притоков, на которых наблюдаются своеобразные ландшафтно-грунтовые условия. На них, как правило, развит елово-лиственничный лес с подростом и зарослями тальника, встречаются кусты смородины. Средняя мощность сезонноталого слоя слагающих их отложений, представленных оторфованными суглинками, супесями и песками, составляет 0,81 м, а в илах и торфах с примесью слабоокатанной гальки снижается до 0,73 м.

Для изучения криогенного строения и текстуры сезоннопротаивающего слоя необходима проходка шурфов полного профиля в то время, когда грунты еще находятся в мерзлом состоянии. Однако для этого у нас, как правило, не было возможности. Лишь в некоторых случаях удавалось пройти еще не успевшую оттаять часть СТС и частично углубиться в многолетнемерзлую толщу. Поэтому мы можем только в общем отметить, что грунты сезоннопротаивающего слоя отличаются в основном горизонтально-слоистыми тонкошлировыми и линзовидными криогенными текстурами. Разрезы подножий склонов характеризуются сетчатыми криотекстурами с прожилками льда. Кроме того, в них основанием деятельного слоя нередко являются отдельные прослои сегрегационного льда. Пески и супеси аллювиального генезиса содержат в себе, как правило, только лед—цемент и характеризуются массивным криогенным сложением.

Наряду с непосредственными измерениями глубин сезонного протаивания грунтов на различных элементах рельефа сделана оценка изменения их во времени. Поскольку трехлетние наблюдения недостаточны для определения предельных отклонений мощности СТС, нами были использованы данные м/ст. Чумпурук [*Справочник..., 1989; Метеорологические..., 1986—1998*], температура воздуха на которой с 1966 по 1997 г. колебалась от −8,1 до −12,8 °С (рис. 3,*а*). Весьма значительны и отклонения сумм положительных температур воздуха (см. рис. 3,*б*), пропорционально квадратному корню отношения которых изменяется глубина сезонного протаивания грунтов. Максимальные отклонения мощности СТС за более чем 30-летний период составляли ±7—10 % (рис. 4).

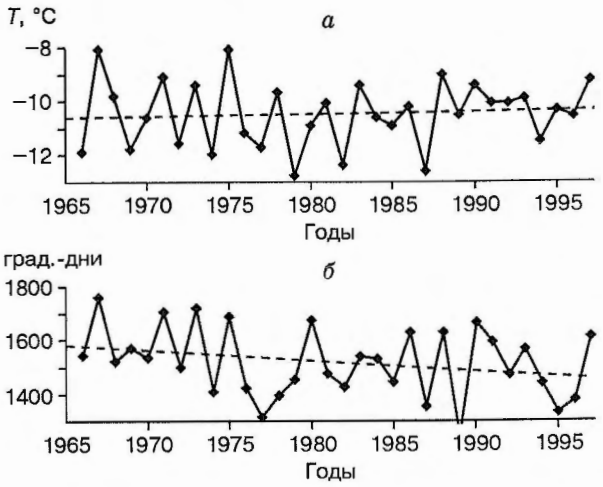

Рис. 3. Изменения средних годовых (*а*) и сумм положительных (*б*) температур воздуха на м/ст. Чумпурук.

Штриховая линия — линейный тренд изменения температур.

Примечательно, что несмотря на незначительное повышение (около 0,3 °С) средней годовой температуры воздуха за рассматриваемый период, сумма положительных температур воздуха неуклонно уменьшалась (см. рис. 3). Последнее обусловливает и уменьшение глубины сезонного протаивания грунтов, которая согласно расчетам к настоящему времени в среднем должна быть на 4,5 % меньше, чем в 1966 г. (см. рис. 4).

Тренд увеличения средних годовых температур воздуха очевидно обусловлен смягчением зимних условий, однако оно оказалось недостаточным, чтобы повлиять на тенденцию изменения мощности СТС. Для количественной оценки влияния зимних условий на динамику и глубину сезонного протаивания грунтов необходимы данные о теплоотдаче как при промерзании СТС, так и при охлаждении подстилающих их многолетнемерзлых пород. Однако такими данными мы пока не располагаем.

Многочисленными исследованиями мерзлотоведов установлено, что при прочих равных условиях под мохово-торфяными покровами грунты оттаивают всегда на меньшую глубину.

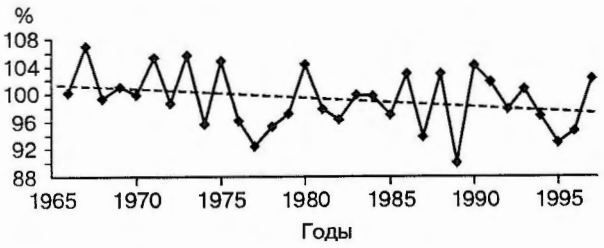

Рис. 4. Относительные изменения глубины сезонного протаивания грунтов за отдельные годы.

Штриховая линия — линия регрессии.

Точную количественную оценку влияния органических покровов можно сделать лишь на основе длительного ряда стационарных наблюдений. Для исследуемой территории возможно провести лишь относительную оценку, сопоставляя естественные участки с уже зарастающими разнотравьем гарями, где мохово-торфяные покровы полностью или частично уничтожены. Сравнение мощности СТС на таких участках показало, что под органическими покровами на супесчано-песчаных грунтах она до 10 %, а на супесчано-суглинистых — на 25—38 % меньше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе трехлетних исследований было установлено, что глубина сезонного протаивания грунтов преобладающих типов местности Хання-Накынского междуречья изменяется от 0,43—0,45 м в суглинках под моховыми покровами и в оторфованных грунтах до 1,96—2,04 м — в песчаных и гравийно-галечных отложениях. На гарях она увеличивается на 10—40 %.

По многолетним метеоданным расчетным путем установлено, что с 1966 по 1997 г. мощность СТС в среднем уменьшилась на 4,5 %, а ее изменчивость в отдельные годы достигала ±7—10 %.

Приведенные новые данные о значениях глубины сезонного протаивания грунтов и о диапазонах ее изменения на различных элементах рельефа существенно уточнили представления о мощности СТС на конкретных участках и представляют определенный интерес в связи с начинающимся хозяйственным освоением территории алмазоносных трубок Ботуобинская и Нюрбинская. В то же время полученные результаты имеют известное экологическое значение, так как деятельный слой исследуемой территории в первую очередь будет испытывать техногенное давление и существенно изменяться в процессе предстоящей разработки как самих трубок, так и строительства различных объектов, а также аккумулировать в себе все отходы производства.

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам Ботуобинской ГРЭ: главному гидрогеологу В. А. Вигандту, геологам В. А. Тараховскому, К. К. Гасанову, Н. А. Иос и др., а также старшему научному сотруднику Института мерзлотоведения СО РАН к.г.-м.н. С. П. Готовцеву за помощь, содействие и всемерную поддержку при проведении полевых геокриологических исследований.

Литература

Балобаев В. Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. Новосибирск, Наука, 1991, 194 с.

Баранов И. Я. Геокриологическая карта СССР масштаба 1 : 10 000 000. М., Ин-т мерзлотоведения им. В. А. Обручева АН СССР, 1960. Поясн. зап., 48 с. Схемат. обзор. карта, 2 л.

Баранов И. Я. Геокриологическая карта СССР. Масштаб 1:5 000 000. М., ГУГК СССР, 1977, 4 л.

Геологическая карта Якутской АССР. Масштаб 1:1 500 000 / Гл. ред. Л. И. Красный. М., ГУГК СССР, 1978, 6 л.

Геокриологическая карта СССР. Масштаб 1:2 500 000/ Гл. ред. Э. Д. Ершов. М., Изд-во МГУ, 1996, 16 л.

Заболотник П. С. Сезонное протаивание грунтов района трубок Ботуобинская и Нюрбинская // Междунар. конф. „Мониторинг криосферы" 20—23 апреля 1999 г. Тез. докл. Пущино, Объед. науч. совет по криологии Земли РАН, 1999, с. 119.

Заболотник С. И. Динамика сезоннопротаивающего слоя межгорных котловин Станового нагорья // Матер. VIII Всесоюз. междувед. совещ. по геокриологии (мерзлотоведению), вып. 4, термодинамика и теплофизика верхней зоны земной коры. Якутск, Кн. изд-во, 1966, с. 207—213.

Заболотник С. И. Величина глубины летнего оттаивания грунтов в различных зонах Якутии // Вечная мерзлота Якутии. Якутск, Кн. изд-во, 1984, с. 32.

Заболотник С. И. Схематическая карта Якутии // Вечна ли вечная мерзлота? М., Недра, 1991, с. 58—60.

Кондратьева К. А. Карта температурных макрозон в °С на территории Средней Сибири // Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М., Недра, 1989, с. 67.

Кондратьева К. А. Распространение и мощность субаэральной и субаквальной криолитозоны Средней Сибири // Основы геокриологии. Ч. 3. Региональная и историческая геокриология Мира. М., Изд-во МГУ, 1998, с. 287.

Мельников П. И. Схематическая геокриологическая карта Якутской АССР. Масштаб 1:5 000 000 // Гидрогеология СССР, т. XX, Якутская АССР. М., Недра, 1970, прил., 1 л.

Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1:2 500 000 / Гл. ред. акад. П. И. Мельников. М., Госгеодезия СССР, 1991, 2 л.

Мерзлотные ландшафты Якутии (Поясним. зап. к Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1:2 500 000) / Отв. ред. акад. П. И. Мельников. Новосибирск, ГУГК, 1989, 170 с.

Метеорологические ежемесячники. Ч. 2. Вып. 24, № 1—12, 1986—1997 гг. Якутск, Якутгидромет, 1986—1998 гг.

Методика мерзлотной съемки / Под ред. проф. В. А. Кудрявцева. М., Изд-во МГУ, 1979, 358 с.

Павлов А. В. Теплофизика ландшафтов. Новосибирск, Наука, 1979, 284 с.

Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования. Метод. рук. / Пред. редкол. проф. И. Я. Баранов. М., Изд-во АН СССР, 1961, 423 с.

Соловьев П. А. Зональность мощности сезоннопротаивающего слоя и картирование ее в Западной и Южной Якутии // Сезонное протаивание и промерзание грунтов на территории Северо-Востока СССР. М., Наука, 1966, с. 14—20.

Соловьев П. А. Карта инженерно-геологического районирования Якутской АССР. Масштаб 1:5 000 000 // Гидрогеология СССР, т. XX, Якутская АССР. М., Недра, 1970, прил., 1 л.

Соловьев П. А. Мощность поверхностной сезонномерзлой толщи на территории Якутии // Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1978, с. 3—12.

Соловьев П. А. Многолетняя мерзлота (криолитозона). Масштаб 1:10 000 000 // Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. М., ГУГК СССР, 1989, с. 27.

Справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Ч. I. Температура воздуха / Отв. ред. С. А. Изюменко. Якутск, Якутгидромет, 1989, 544 с.

Поступила в редакцию
4 апреля 2000 г.