

## УСЛОВИЯ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ И ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

С.И. Заболотник, П.С. Заболотник

*Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,  
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; zabolotnik@mpi.ysn.ru*

Дана геокриологическая оценка территории Южной Якутии. Проведен анализ факторов, определяющих формирование сезоннопротаивающего и сезоннопромерзающего слоев. Вычислены глубины сезонного протаивания для четырех разновидностей грунтов: для относительно сухих и водонасыщенных песков, влажность которых принималась равной 5 и 25 % соответственно, и суглинков с влажностью 20 и 45 %. Выявлены закономерности изменения глубин сезонного протаивания грунтов в зависимости от географической широты и абсолютной высоты местности. Установлено, что при увеличении абсолютной высоты местности на 1000 м глубина сезонного протаивания грунтов уменьшается на 0,56–0,68 м в суглинках и на 0,85–1,28 м в песках. При продвижении на юг мощность деятельного слоя, наоборот, увеличивается на каждый градус широты на 0,064–0,078 м в суглинках и на 0,097–0,143 м в песках. Дана оценка высотного уровня снеговой линии, выше которого грунты не оттаивают вообще. Получены ход и темп сезонного протаивания и замерзания грунтов на территориях распространения многолетнемерзлых пород, а также промерзания и оттаивания грунтов на таликах. Приведены темпы сезонного протаивания грунтов на различных высотах.

*Многолетнемерзлые породы, сезонное протаивание и промерзание грунтов, талики*

### CONDITIONS OF GROUND SEASONAL THAWING AND FREEZING IN SOUTH YAKUTIA

S.I. Zabolotnik, P.S. Zabolotnik

*Melnikov Permafrost Institute, SB RAS,  
677010, Yakutsk, Merzlotnaya str., 36, Russia; zabolotnik@mpi.ysn.ru*

Evaluation of geocryological conditions in South Yakutia and analysis of factors controlling the development of seasonally thawing and seasonally freezing layers have been accomplished. Seasonal thaw depths have been computed for four soil types: relatively dry and saturated sands with moisture contents of 5 and 25 % and silty loams with moisture contents of 20 and 45 %, respectively. The relationships of seasonal thaw depth and latitude/altitude have been revealed. It has been established that the increase in altitude by 1000 m causes a decrease in the depth of seasonal thaw by 0.56–0.68 m in silty loams and by 0.85–1.28 m in sands. On the contrary, towards southward, the thaw depths increases per each degree of latitude by 0.064–0.078 m in silty loams and by 0.097–0.143 m in sands. The altitudinal position of the snow line, above which soils never thaw, has been estimated. The regime and the rate of seasonal thawing and freezing in permafrost areas and in taliks have been obtained. The rates of seasonal soil thawing are given for different altitudes.

*Permafrost, seasonal thawing and seasonal freezing of soils, taliks*

### ВВЕДЕНИЕ

Исследуемая территория расположена в южной части Республики Саха (Якутия). Ее географическое положение определяется координатами: 118°50'–133°05' в.д. и 55°30'–60°15' с.ш.

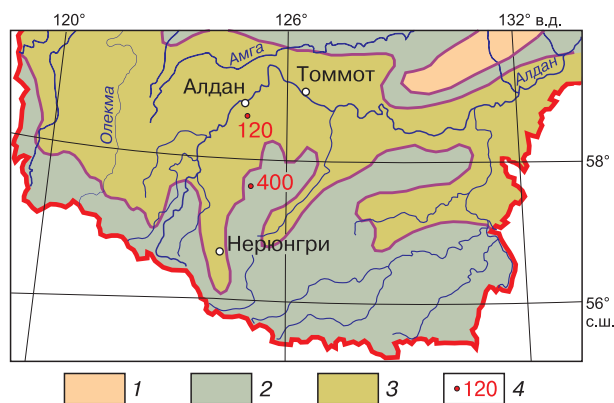
Рельеф региона отличается большим разнообразием. Территория состоит из ряда горных хребтов, гольцовых групп, плоскогорий, горных впадин с довольно сложной геологической историей и разнообразным геоморфологическим строением.

Здесь преобладают средне- и высокогорный ландшафты с колебанием высот от 650 до 2243 м над уровнем моря [Якутия, 2007]. Большая часть территории Южной Якутии занята Алданским на-

горьем, которое с юга и юго-запада окаймляет Становой хребет.

Климат определяется горным рельефом и взаимодействием погодообразующих процессов и характеризуется как умеренно континентальный. Многолетняя средняя годовая температура воздуха в регионе изменяется в достаточно большом диапазоне – от –6,2 ÷ –6,3 °С (Алдан) до –11,2 ÷ –11,4 °С (Токо) [Справочник..., 1966; Научно-прикладной справочник..., 1989].

Одной из особенностей природного ландшафта региона, во многом определяющей его облик, является наличие многолетней мерзлоты (криолитозоны). На большей части региона криолито-



**Рис. 1. Фрагмент карты Якутии В.В. Шепелёва “Многолетняя мерзлота (криолитозона)” [2009].**

1, 2 – сплошная криолитозона: 1 – мощность более 500 м, 2 – мощность 150–500 м; 3 – прерывистая криолитозона, мощность до 150 м; 4 – установленная мощность криолитозоны.

зона имеет прерывистое по площади и сплошное по вертикали распространение, а ее мощность колеблется от нескольких метров до 150 м. В высокогорье на юге региона и на прилегающих с севера территориях многолетнемерзлые породы (ММП) имеют сплошное распространение. Мощность их изменяется от 150 до 500 м, а на северо-востоке, в междуречье Алдана и Амги, – превышает 500 м (рис. 1) [Шепелёв, 2009].

Средняя годовая температура ММП на подошве слоя ее годовых колебаний изменяется преимущественно от 0 до  $-4^{\circ}\text{C}$ , а на отдельных участках понижается до  $-6^{\circ}\text{C}$ . Средняя годовая температура талых пород в большинстве случаев не превышает  $+2^{\circ}\text{C}$  [Южная Якутия, 1975].

Специфической чертой региона является сложное пространственное сочетание территорий, в пределах которых распространены талики или многолетнемерзлые породы [Белокрылов, 1960; Фотиев, 1965; Алексеев, 1968]. В Южной Якутии талики имеют довольно широкое распространение. “Они занимают большую часть площади Приалданского и 40–60 % Чульманского плато. В равнинных районах Алданского плоскогорья площадь, занятая ими, сокращается до 20 % с ростом абсолютных высот местности. В горных районах талики имеют локальное распространение и занимают менее 10 % площади. По положению в рельефе преобладают водораздельные и долинные талики. Первые приурочены, как правило, к хорошо дренированным пологовыпуклым поверхностям водоразделов и их склонам, вторые – к руслам рек и ручьев, реже к пойменным и надпойменным террасам” [Южная Якутия, 1975, с. 106].

Южная Якутия является одним из основных минерально-сырьевых районов Республики Саха (Якутия). Здесь расположены промышленные запасы золота, коксующихся и энергетических углей, железных руд, слюды, строительных материалов, полудрагоценных и ювелирных камней.

Здесь же в непосредственной близости найдены неограниченные запасы вспомогательного нерудного сырья, крайне необходимые для черной металлургии: флюсовые известняки, доломиты, форстериты, флюорит, формовочные и огнеупорные глины, кварциты и др.

На территории Южной Якутии уже учтено 232 месторождения золота, 6 железорудных районов, 2 флогопитоносных района, хрусталеносная провинция, месторождения ювелирного и камнесамоцветного сырья и многое другое [Южная Якутия..., 2012].

### СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Даже далеко не полный перечень мероприятий, направленных на освоение Южной Якутии, показывает, насколько актуально сейчас знание природных условий региона и, в частности, особенностей сезонного протаивания и сезонного промерзания грунтов, которые необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации различных объектов. Это обусловлено тем, что именно сезоннопротаивающий (сезоннопромерзающий) слой в первую очередь подвергается техногенным воздействиям. Кроме того, процессы промерзания и протаивания грунтов являются основными в образовании и развитии мерзлых пород. Они обусловлены главным образом особенностями теплообмена на поверхности грунтов и определяют не только сам факт формирования сезонномерзлых или многолетнемерзлых пород, но и их мощность и распространение.

Глубина сезонного протаивания (промерзания) грунтов зависит от множества постоянно изменяющихся параметров природной среды, поэтому предсказать ее точные значения в каком-либо одном месте фактически невозможно. Тем не менее постоянно возникает необходимость оценки сроков оттаивания или промерзания грунтов до требуемой для производства работ глубины, максимальной мощности деятельного слоя, а также времени его частичного или полного промерзания (протаивания). Это можно сделать лишь при сопоставлении единовременных результатов измерений в аналогичных условиях и по единой методике. Проведение такой работы в природных условиях до настоящего времени, к сожалению, невозможно ввиду отсутствия необходимого потенциала специалистов и средств.

Кроме того, при проведении геокриологических исследований практически нельзя найти ана-

логичные по всем параметрам участки в различных частях региона и провести сравнительный анализ результатов. Это можно сделать только на основе расчетов, в которых для каждого пункта принимаются одинаковыми состав и свойства грунтов, а изменяется лишь количество поступающего к земной поверхности тепла, обусловленного географической широтой и абсолютной высотой местности. Поэтому необходимые для дальнейшего анализа глубины сезонного протаивания грунтов были вычислены по единой методике [Заболотник, 1998], исходя из данных многолетних наблюдений на метеорологических станциях Южной Якутии [Справочник..., 1966; Научно-прикладной справочник..., 1989].

Вычисления были выполнены для двух разновидностей грунтов: для песков, имеющих влажность 5 и 25 %, и для суглинков, влажность которых принималась равной 20 и 45 %. Такие показатели в расчетах были выбраны для того, чтобы определить близкие к максимальным и минимальным пределы изменения глубин сезонного протаивания этих грунтов.

Выбор песчаных и суглинистых грунтов для расчетов также не случаен. Опыт многолетних исследований геокириологов на территории России показал, что глубина сезонного протаивания грунтов на торфяниках и под мохово-торфяными покровами всегда меньше, чем в суглинках. В суглинках она больше, чем в суглинках, но меньше, чем в песках. В гравийно-галечных грунтах, а также в скальных породах мощность сезонного слоя всегда больше, чем в песках. Таким образом, эти расчеты дают представление о глубине сезонного протаивания практически для всех разновидностей грунтов.

Для выявления закономерностей изменения глубин сезонного протаивания грунтов с севера на юг, а также при повышении абсолютной высоты местности была выбрана центральная, наиболее протяженная в этом направлении (около 500 км) часть Южной Якутии (рис. 2).

Абсолютная высота местности вдоль рассматриваемого профиля изменяется преимущественно от 500 до 1000 м, а на отдельных участках возрастает до 1300–1500 м.

Количественная оценка изменений глубин сезонного протаивания грунтов проведена ведущим математиком Института мерзлотоведения (ИМЗ) им. П.И. Мельникова СО РАН Н.И. Вотяковой на основе статистической обработки результатов вычислений по компьютерной программе Mathematica [Wolfram, 1993]. Корреляционные связи, а также коэффициенты регрессии определены по методу наименьших квадратов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку в Южной Якутии метеорологические станции расположены в достаточно большом

диапазоне высот, удалось не только вычислить глубины сезонного протаивания грунтов в местах их расположения, но и установить корреляционные зависимости расчетных величин от географической широты и абсолютной высоты местности. Полученные соотношения имеют вид

$$\begin{aligned} & \text{суглинок } (W = 45 \%), \\ \xi_1 &= -0,0637\varphi - 0,560 \cdot 10^{-3}H + 5,43, \rho = 0,77; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{суглинок } (W = 20 \%), \\ \xi_2 &= -0,0783\varphi - 0,682 \cdot 10^{-3}H + 6,62, \rho = 0,76; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \text{песок } (W = 25 \%), \\ \xi_3 &= -0,0969\varphi - 0,847 \cdot 10^{-3}H + 8,21, \rho = 0,77; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{песок } (W = 5 \%), \\ \xi_4 &= -0,1431\varphi - 1,277 \cdot 10^{-3}H + 11,82, \rho = 0,74, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $W$  – весовая влажность грунтов, %;  $\xi$  – глубина сезонного протаивания грунтов, м;  $\varphi$  – географическая широта местности, градусы северной широты;  $H$  – абсолютная высота местности, м;  $\rho$  – коэффициент корреляции. Размерность коэффициентов: перед первым членом – м/град с.ш., перед вторым – м/м высоты, третьего – м.

Расчеты показали, что при увеличении высоты местности на 1000 м глубина сезонного протаивания грунтов будет уменьшаться на 0,56–0,68 м в суглинках и на 0,85–1,28 м в песках. При продвижении на юг, наоборот, она будет увеличиваться на каждый градус широты на 0,06–0,08 м в суглинках и на 0,10–0,14 м в песках. Из соотношений (1)–(4) следует, что в Южной Якутии на большей части территории региона глубины сезонного протаивания грунтов изменяются от 1,0 до 1,8 м в суглинках и от 1,5 до 3,1 м в песках.

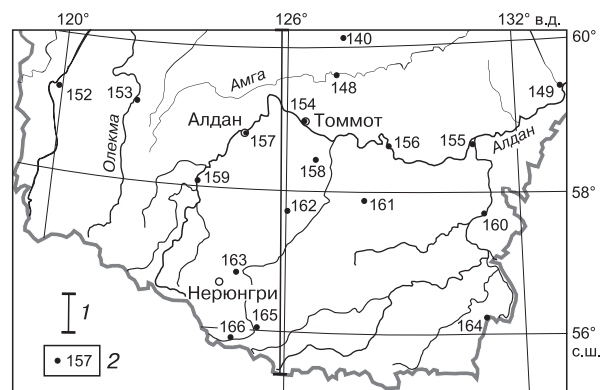


Рис. 2. Схема расположения метеостанций в Южной Якутии.

1 – линия профиля, вдоль которого рассчитаны глубины сезонного протаивания грунтов; 2 – расположение и номер метеостанции по [Справочник..., 1966]: 140 – Добролет, 148 – Буяга, 149 – Усть-Миль, 152 – Тяня, 153 – Джикимда, 154 – Томмот, 155 – Учур, 156 – Угино, 157 – Алдан, 158 – Эмельджак, 159 – Суон-Тит, 160 – Чульбю, 161 – Спокойный, 162 – Канку, 163 – Чульман, 164 – Токо, 165 – Лебединский прииск, 166 – Нагорный.

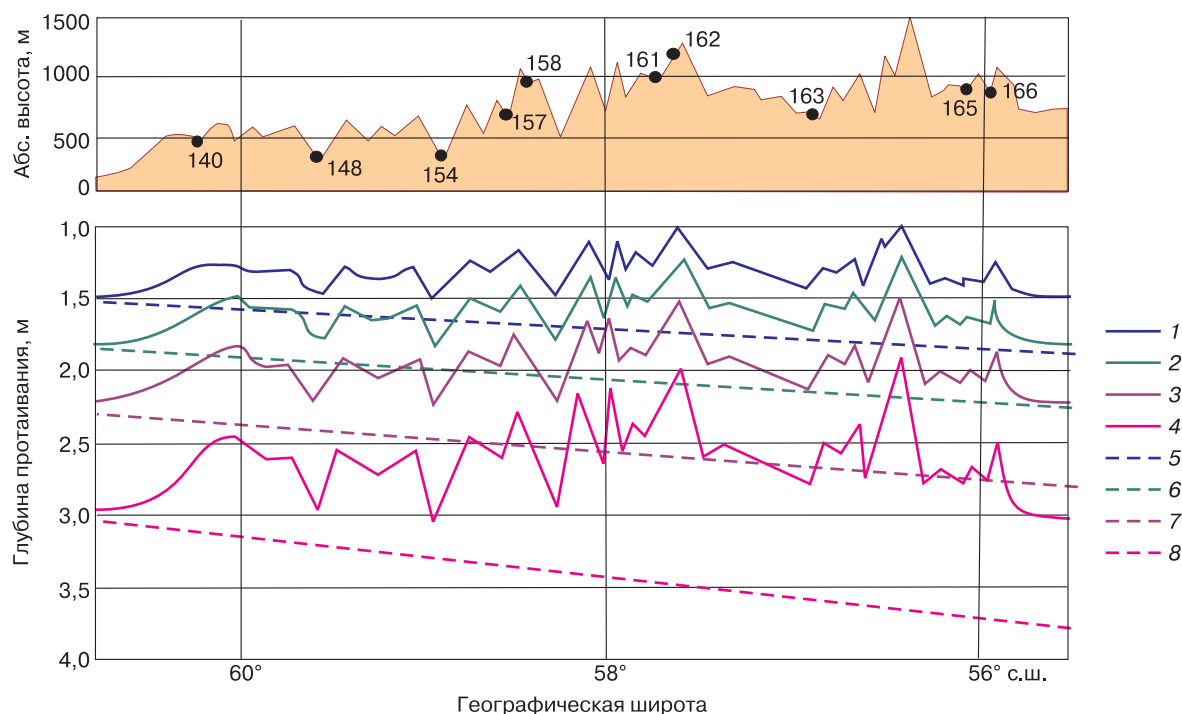
Необходимо иметь в виду, что в низкорасположенных долинах рек и межгорных котловинах, где высотный градиент незначителен, грунты будут оттаивать на большую глубину, достигая 2,25 м в суглинках и 3,8 м в песках (рис. 3).

Установленные корреляционные зависимости грунтов, помимо общих диапазонов изменения глубины сезонного протаивания, позволяют непосредственно вычислить их в любой точке региона. Кроме того, можно было бы определить высотную границу, выше которой вообще не будет происходить оттаивание грунтов. Однако все корреляционные зависимости были получены при анализе данных метеорологических станций, расположенных на высоте от 278 до 1218 м над уровнем моря. Естественно, что ошибки при вычислении глубины сезонного протаивания грунтов за пределами этого диапазона будут непредсказуемыми. Поэтому мы попытались оценить высотный предел, выше которого не будет происходить сезонное протаивание грунтов, косвенным путем.

В природе сезонное оттаивание грунтов не происходит выше границы снеговой линии, т. е. границы, выше которой выпадающие твердые осадки в виде снега постоянно сохраняются на горизонтальной незатененной поверхности [Гляциологический словарь, 1984]. В окружающих регион

горных системах современное оледенение установлено только в примыкающем к нему с юго-запада хребте Кодар, расположенном между 56°40' и 57°30' с.ш., самая высокая вершина которого достигает 3073 м над уровнем моря [Общегеографическая карта, 2009]. По отчетам туристических групп, снеговая линия в его пределах находится в интервале высот 2200–2600 м [Бологова, 2007; Становое нагорье, 2012]. Однако есть серьезные сомнения в достоверности этих данных, поскольку они не согласуются с исследованиями ИМЗ СО РАН. Группа специалистов института под руководством д-ра геогр. наук, профессора И.А. Некрасова в течение 1971–1976 гг. провела детальное обследование хребтов в горной стране Черского на северо-востоке Якутии. Хотя этот регион находится намного севернее (между 64°20' и 68°00' с.ш.) высота снеговой линии в его пределах изменяется ненамного ниже, а именно, от 2150 до 2500 м [Ресурсы..., 1981].

В более раннем источнике [Тронов, 1954] сообщается, что на хр. Кодар фирновая линия проходит на высоте 2400 м, а язык ледника спускается до 2200 м. Поскольку фирновая линия, в конце лета отделяющая покрытую фирном область ледника от области обнаженного льда, может находиться как выше снеговой линии [Алексеев, 2007],



**Рис. 3. Зависимость глубины сезонного протаивания грунтов от географической широты и абсолютной высоты местности:**

1–4 – изменение глубин сезонного протаивания грунтов с учетом абсолютной высоты местности, 5–8 – без ее учета. Суглинки: 1, 5 – влажность 45 %, 2, 6 – влажность 20 %; пески: 3, 7 – влажность 25 %; 4, 8 – влажность 5 %; 140–166 – номера и расположение метеостанций.

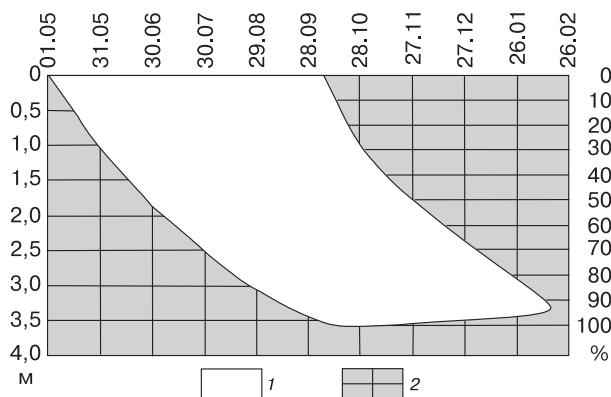


Рис. 4. Средние многолетние ход (левая шкала) и темп (правая шкала) сезонного протаивания и промерзания грунтов на метеостанции Чульман:

1 – сезонноталый слой; 2 – мерзлые грунты.

так и ниже ее [Гляциологический словарь, 1984], вопрос об истинном положении снеговой линии в хр. Кодар остается открытым. Скорее всего, в отчетах туристических групп за снеговую линию принята либо нижняя кромка языков ледника, либо нижняя граница снежников, накапливающихся в затененных глубоких узких трогах и карах, а потому она явно занижена.

На основе вышеизложенного мы склонны считать, что снеговая линия в пределах Южной Якутии находится выше 2500–2600 м. Это предположение подтверждается и тем, что на самых высокорасположенных вершинах региона (2230 и 2243 м над уровнем моря [Якутия, 2007]) ледников нет и снег полностью оттаивает в течение лета.

Режимные измерения температуры грунтов на метеостанциях, помимо установления широтных и высотных закономерностей изменения мощности сезонноталого слоя, позволяют также получить информацию о динамике процесса.

Сроки сезонного протаивания и промерзания грунтов достаточно точно можно получить только по результатам многолетних измерений температуры почвы на метеорологических станциях до глубины 3,2 м. В Южной Якутии они проводятся только на двух метеостанциях – Чульман и Томмот.

Площадка первой была оборудована на ММП мощностью около 80 м [Алексеев, 1968], а второй – на таликах. Это в первую очередь обусловлено ус-

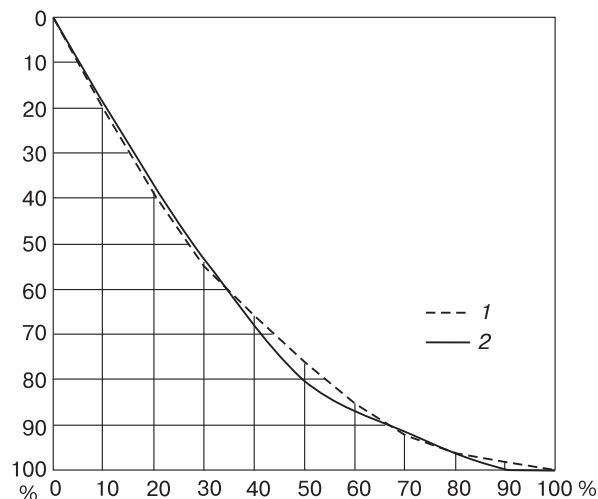


Рис. 5. Кривые интенсивности сезонного протаивания грунтов.

1 – обобщенная кривая [Павлов, 1979]; 2 – расчетная кривая по данным метеостанции Чульман.

ловиями их местоположения. Хотя метеостанция Чульман находится гораздо южнее (см. рис. 2), но она располагалась в долине одноименной реки на отлогом северном склоне террасы на высоте 671 м над уровнем моря, а Томмот гораздо ниже, на высоте 283 м [Справочник..., 1966].

Анализ многолетних измерений температуры грунтов на метеостанции Чульман с 1948 по 1965 г.\* показывает, что грунты обычно начинают оттаивать в начале мая, а заканчивается их протаивание к середине октября, достигая глубины 3,5–3,6 м. Последующее промерзание сезонноталого слоя происходит немного быстрее и завершается уже в середине февраля. Причем протаявший за лето слой на 94 % промерзает сверху. В среднем, деятельный слой оттаивает к началу июля уже наполовину, а к концу августа – почти на 85 % (рис. 4).

Для сравнения данных по ходу и темпу сезонного протаивания грунтов в Чульмане с результатами исследований в Центральной Якутии, мы вслед за А.В. Павловым [1979] пересчитали их в относительные величины. Оказалось, что обе кривые практически совпадают, а максимальные отклонения наблюдаются в середине летнего сезона и не превышают 3 % (рис. 5).

В связи с тем, что средняя многолетняя температура грунтов на глубине 3,2 м (максимальной глубине, на которой измеряется температура почвы на метеостанциях в Южной Якутии) составляет всего  $-0,8^{\circ}\text{C}$  [Справочник..., 1966; Научно-

\* Метеоплощадка станции с 1 января 1966 г. была перенесена на водораздельный участок, расположенный на высоте 844 м [Справочник..., 1975], где нет ММП [Алексеев, 1968].

прикладной справочник..., 1989], запасов холода в подстилающей многолетнемерзлой толще недостаточно для существенного промерзания деятельного слоя снизу. Поэтому снизу промерзает только незначительная его часть (не более 6 %).

В последнее время активно обсуждается возможность влияния глобального потепления климата на криолитозону [Израэль и др., 2002; Павлов, 2005; Балобаев и др., 2009; Конищев, 2011]. При этом рассматриваются самые разные варианты изменения состояния ММП в отдельных районах. В Центральной Якутии, “несмотря на сильное современное потепление климата, повышение температуры мерзлых грунтов выражено слабо и не повсеместно” [Павлов, 2005, с. 18], а также “современное потепление пока слабо повлияло на тепловое состояние мерзлых пород” [Балобаев и др., 2009, с. 56].

Реакция деятельного слоя на потепление климата также неодинаковая. В одних работах сообщается, что “во многих районах Севера не отмечается четко выраженное возрастание глубины сезонного протаивания” [Анисимов и др., 1999, с. 22]. В других пишут, что на севере Западной Сибири с 1970 по 2010 г. происходило “устойчивое увеличение мощности сезонного слоя” [Москаленко, 2012, с. 41]. Для Центральной Якутии при устойчивом росте температур воздуха тенденция увеличения мощности сезонного протаивания либо не была установлена [Скрябин и др., 1999], либо была определена слабая реакция деятельного слоя [Гаврильев, Угаров, 2009].

Многолетние исследования ИМЗ СО РАН в Центральной Якутии показали, что, несмотря на значительное за последние годы повышение “средней годовой температуры воздуха, глубина сезонного протаивания остается достаточно стабильной” [Варламов и др., 2010, с. 101]. Например, по данным наблюдений в долине Туймаада с 1993 по 2009 г., никакого положительного тренда глубины сезонного протаивания грунтов не установлено, хотя межгодовая изменчивость ее величин иногда достигала от –12,6 до +7,3 % [Варламов и др., 2010].

Аналогичные данные получены и на стационаре Спасская падь. Наблюдения на 12 площадках с 1998 по 2003 г. показали, что изменения глубины сезонного протаивания грунтов в отдельные годы на естественных участках происходили в пределах от –7 до +5 %, а на вырубках и вблизи водоемов возрастали до –11...+19 %. Кроме того, в большинстве случаев в конце наблюдений мощность сезоннопротаивающего слоя не только не увеличивалась, но и оставалась такой же или даже уменьшалась [Герасимов, 2006]. В связи с этим нет никаких оснований полагать, что в настоящее время глубина сезонного протаивания грунтов су-

щественно изменилась относительно полученных ранее величин по многолетним наблюдениям на метеостанциях и из других источников [Белокрылов, 1960; Фотиев, 1965; Справочник..., 1966; Алексеев, 1968; Южная Якутия, 1975; Соловьев, 1989].

Знания пределов изменения максимальной мощности сезонного слоя в регионе часто бывает недостаточно, так как временами необходимо выяснять, на какую глубину оттаивает грунт на определенный момент летнего периода. Для этих целей обычно используются графики темпа (скорости) сезонного протаивания грунтов. Их можно получить расчетным путем с учетом данных наблюдений за температурой воздуха или поверхности почвы на метеостанциях. Согласно формуле Стефана [Достовалов, 1967], глубина сезонного протаивания ( $\xi$ ) прямо пропорциональна квадратному корню из суммы градусо-часов ( $\Sigma t$ ):

$$\xi = \alpha \sqrt{\Sigma t}, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий свойства среды.

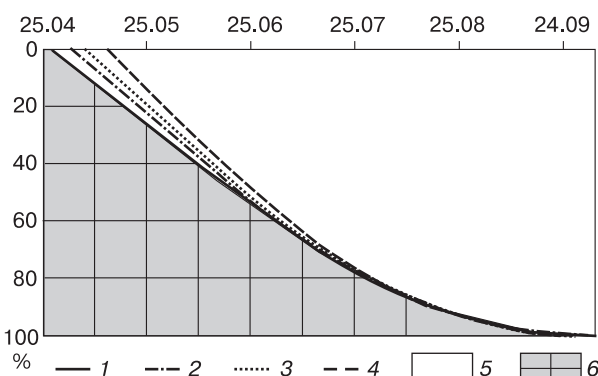
Если слой сезонного протаивания однороден по составу и теплофизическим характеристикам, очевидно, что отношение глубины сезонного протаивания грунтов на некоторый момент времени ( $\xi_i$ ) к максимальной глубине ( $\xi_{\max}$ ) будет определяться отношением поступившего количества тепла за это время, выраженного в градусо-часах, к максимальному значению за весь сезон:

$$\xi_i / \xi_{\max} = \sqrt{\Sigma t_i} / \sqrt{\Sigma t_{\max}}. \quad (6)$$

По соотношению (6) легко рассчитать темп сезонного протаивания грунтов, используя суммы температур воздуха (поверхности почвы) за требуемый период и за весь летний сезон и приняв за начало и конец сезонного протаивания грунтов даты перехода средних суточных температур через 0 °С.

Используя соотношение (6), можно определить, насколько процентов оттаял грунт на конкретную дату, и затем вычислить абсолютную величину или, наоборот, по известной глубине протаивания в июне–августе определить максимальную. Для участков распространения ММП темп протаивания грунтов в регионе можно вычислить по результатам измерений температуры воздуха на всех метеостанциях.

Естественно, что из-за различия высотного и широтного положений метеостанций темп протаивания грунтов не будет одинаковым, поскольку продолжительность летнего сезона существенно зависит от этого. Для обобщенного отображения закономерностей все результаты расчетов мы объединили в четыре группы по высотному признаку и для каждой группы получили осредненную кри-



**Рис. 6. Темп сезонного протаивания грунтов на участках, расположенных на высотах:**

1 – до 400 м, 2 – 400–800 м, 3 – 800–1000 м, 4 – 1000–1250 м; 5 – сезонноталый слой; 6 – мерзлые грунты.

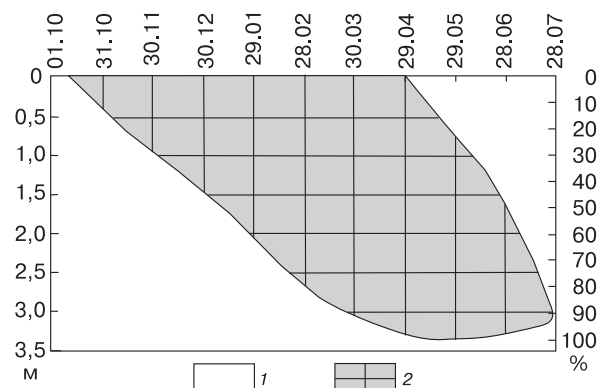
вую (рис. 6). При этом влияние разницы широтного положения участков и сроков окончания летнего сезона на темп сезонного протаивания грунтов не установлено.

Для таликовых участков невозможно точно учесть влияние снежного покрова, поэтому темп сезонного промерзания грунтов можно получить только по данным непосредственных измерений температуры грунтов до глубины 3,2 м на метеостанции Томмот.

Площадка метеостанции Томмот находится на талых грунтах. По результатам многолетних наблюдений, средняя годовая температура грунтов на глубине 3,2 м равна  $+0,7^{\circ}\text{C}$  [Справочник..., 1966; Научно-прикладной справочник..., 1989]. В среднем за весь период наблюдений мощность сезоннопромерзающего слоя составляет 3,35 м. Промерзание грунтов начинается в начале октября, а завершается в середине мая, когда сверху они оттаивают почти на 0,5 м (рис. 7).

Оттаивание сезонномерзлого слоя в Томмоте начинается примерно в те же сроки, что и в Чульмане, однако завершается оно уже в последней декаде июля. Это означает, что на таких участках начиная с августа грунты будут талыми уже на всю глубину. При этом следует иметь в виду, что в среднегорье Южной Якутии талики, как правило, распространены на сухих возвышенных участках, а мерзлота – в низинах [Белокрылов, 1960; Фотиев, 1965; Алексеев, 1968, 2008; Южная Якутия, 1975].

Несмотря на то что средняя годовая температура грунтов в Томмоте на подошве деятельного слоя относительно невысокая ( $+0,7^{\circ}\text{C}$ ), он оттаивает снизу почти на 10 %. В какой-то мере этому способствует свободная циркуляция подземных вод в подстилающих этот слой талых толщах.



**Рис. 7. Средние многолетние ход (левая шкала) и темп (правая шкала) сезонного промерзания и оттаивания грунтов на метеостанции Томмот:**

1 – талые грунты; 2 – сезонномерзлые грунты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований установлено, что при увеличении высоты местности на 1000 м глубина сезонного протаивания грунтов уменьшается на 0,5–0,7 м в суглинках и на 0,8–1,3 м в песках. При продвижении на юг она, наоборот, увеличивается на каждый градус широты на 0,06–0,08 м в суглинках и на 0,10–0,14 м в песках. На основе этого получены диапазоны изменения глубин сезонного протаивания грунтов для суглинков (1,0–1,8 м) и песков (1,5–3,1 м).

В особых условиях нередко наблюдаются и экстремальные мощности сезоннопромерзающего (сезоннопромерзающего) слоя, достигающие 4–5 м и более [Белокрылов, 1960; Фотиев, 1965; Алексеев, 1968, 2008], что следует учитывать при проведении работ в регионе. На участках без существенного влияния азональных факторов наибольшая многолетняя глубина сезонного протаивания грунтов составляет для торфа 1 м, для суглинка 2 м, для песка 4 м [Соловьев, 1989].

На основе анализа многолетних измерений температуры почвы на метеостанциях определены средние сроки и интенсивности сезонного протаивания (замерзания) и промерзания (оттаивания) грунтов.

Показано, что снеговая линия находится выше самых высоких вершин региона и в течение летнего сезона снег полностью стает.

## Литература

**Алексеев В.Р.** О роли геоботанических карт при изучении мерзлых пород // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока, 1968, вып. 17, с. 20–26.

**Алексеев В.Р.** Наледеведение: словарь-справочник / Под ред. А.Н. Антипова, В.П. Мельникова. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2007, 438 с.

- Алексеев В.Р.** Криология Сибири / В.Р. Алексеев. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2008, 483 с.
- Анисимов О.А., Нельсон Ф.Э., Павлов А.В.** Прогнозные сценарии эволюции криолитозоны при глобальных изменениях климата в XXI веке // Криосфера Земли, 1999, т. III, № 4, с. 15–25.
- Балобаев В.Т., Скачков Ю.Б., Шендер Н.И.** Прогноз изменения климата и мощности мерзлых пород Центральной Якутии до 2020 года // География и природ. ресурсы, 2009, № 2, с. 50–56.
- Белокрылов И.Д.** Многолетнемерзлые породы зоны железорудных и каменноугольных месторождений Южной Якутии / И.Д. Белокрылов, А.И. Ефимов. М., Изд-во АН СССР, 1960, 76 с.
- Бологова Г.А.** Отчет о пешем туристском походе V категории сложности по Кодарскому хребту. URL: [http://skitalets.ru/foot/2007/kodar\\_bologova/](http://skitalets.ru/foot/2007/kodar_bologova/) (дата обращения: 08.02.2012).
- Варламов С.П., Скрябин П.Н., Скачков Ю.Б.** Геотемпературный мониторинг грунтов долины Туймаада // Научное обеспечение решения ключевых проблем развития г. Якутска. Якутск, Сфера, 2010, с. 97–102.
- Гаврильев П.П., Угаров И.С.** Реакция пород ледового комплекса Центральной Якутии на потепление климата // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 1, с. 24–30.
- Герасимов Е.Ю.** Межгодовая изменчивость мощности сезонноталого слоя // "Спаская падь": комплексные исследования мерзлотных ландшафтов. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2006, с. 100–103.
- Гляциологический словарь** / Под ред. В.М. Котлякова. Л., Гидрометеоиздат, 1984, 528 с.
- Достовалов Б.Н.** Общее мерзлотоведение / Б.Н. Достовалов, В.А. Кудрявцев. М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, 404 с.
- Заболотник С.И.** Широтные и высотные закономерности сезонного протаивания грунтов в Якутии // Проблемы геокриологии. Якутск, Изд-во СО РАН, 1998, с. 88–94.
- Израэль Ю.А., Павлов А.В., Анохин Ю.А.** Эволюция криолитозоны при современных изменениях глобального климата // Метеорология и гидрология, 2002, № 1, с. 10–18.
- Конищев В.Н.** Реакция вечной мерзлоты на потепление климата // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 4, с. 15–18.
- Москаленко Н.Г.** Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 2, с. 38–42.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР.** Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6, вып. 24: Якутская АССР. Кн. 1. Л., Гидрометеоиздат, 1989, 607 с.
- Общегеографическая карта.** М-б 1:7 500 000 // Республика Саха (Якутия). Комплексный Атлас / Под ред. О.А. Лазебника. Якутск, ФГУП "Якут. аэрогеодез. предприятие", 2009, с. 16–17.
- Павлов А.В.** Теплофизика ландшафтов / А.В. Павлов. Новосибирск, Наука, 1979, 286 с.
- Павлов А.В.** Современные изменения климата на севере России / А.В. Павлов, Г.В. Малкова. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2005, 54 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР.** Каталог ледников СССР. Т. 17. Лено-Индигирский район. Вып. 7, ч. 2, 4. Т. 19. Северо-восток. Ч. 4. Л., Гидрометеоиздат, 1981, 88 с.
- Скрябин П.Н., Скачков Ю.Б., Варламов С.П.** Потепление климата и изменение термического состояния грунтов в Центральной Якутии // Криосфера Земли, 1999, т. III, № 3, с. 32–40.
- Соловьев П.А.** Многолетняя мерзлота (криолитозона) // Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. М., ГУТК СССР, 1989, с. 27.
- Справочник по климату СССР.** Вып. 24. Якутская АССР. Ч. II. Температура воздуха и почвы. Л., Гидрометеоиздат, 1966, 398 с.
- Справочник по климату СССР.** Вып. 24. Якутская АССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Ч. VIII. Температура почвы / Ред. С.А. Изюменко. Якутск, Якут. упр-ние гидрометеорол. службы, 1975, 570 с.
- Становое нагорье** // Энциклопедия туриста. URL: <http://outdoors.ru/abc/abc1730.php> (дата обращения: 08.02.2012).
- Тронов М.В.** Вопросы горной гляциологии / М.В. Тронов. М., Гос. изд-во геогр. лит., 1954, 276 с.
- Фотиев С.М.** Подземные воды и мерзлые породы Южно-Якутского угленосного бассейна / С.М. Фотиев. М., Наука, 1965, 230 с.
- Шепелёв В.В.** Многолетняя мерзлота (криолитозона) // Республика Саха (Якутия). Комплексный атлас. Якутск, ФГУП "Якут. аэрогеодез. предприятие", 2009, с. 26–27.
- Южная Якутия.** Мерзлотно-гидрогеологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района / Под ред. В.А. Кудрявцева. М., Изд-во Моск. ун-та, 1975, 444 с.
- Южная Якутия** – краткий экскурс. URL: <http://www.stranayu-ya.narod.ru/index.files/Other/south-yakutiya-little-bit.html> (дата обращения: 08.02.2012).
- Якутия.** Историко-культурный атлас: природа, история, этнография, современность / Под ред. В.Н. Иванова. М., Феория, 2007, 872 с.
- Wolfram S.** Mathematica: a system for doing mathematics by computer. Bonn, Germany, Addison-Wesley Publ. Company, 1993, 961 p.

Поступила в редакцию  
7 апреля 2012 г.