

РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ ОТТАИВАНИЯ И ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТАЛОГО СЛОЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ НА ПОЛИГОНАЛЬНЫХ БОЛОТАХ

Москвин Юрий Павлович

Кандидат географических наук, старший научный сотрудник,
Государственный гидрологический институт
25.00.27
yrmosk@gmail.com

Аннотация. Приводится формула для расчета глубины оттаивания торфяной залежи.

Получены величины и формулы для расчета входящих в нее параметров. Рассмотрены вопросы учета пространственной изменчивости влагосодержания торфяной залежи. Проведено сравнение расчетных и наблюдаемых величин оттаивания торфяной залежи полигональных болот.

Ключевые слова: Полигональные болота, сезонное оттаивание многолетней мерзлоты, изменчивость влажности деятельного слоя полигональных болот.

CALCULATION OF THAWING DEPTH AND MOISTURE CONTENT OF THE THAWED LAYER OF PEAT DEPOSIT IN POLYGONAL BOGS

Moskvin Iurii Pavlovich

Ph.D. of Geographical Sciences, Senior Research Fellow
National Institute of Hydrology

Abstract. Formula for calculating peat deposit thawing depth is given.

Values and formulae for calculating parameters included in this formula are obtained. Problems of accounting spatial variability of peat deposit moisture content are considered. Comparison is made of calculated and observed values of thawing peat deposit in polygonal bogs.

Key words: Polygonal bogs, seasonal permafrost thawing, variability of polygonal bog active layer moisture content.

Проектирование и строительство промышленных объектов, дорог и других сооружений требует знания режима сезонного оттаивания деятельного слоя многолетнемерзлых грунтов. Основными факторами, определяющими режим оттаивания, являются поступление тепла к поверхности почво-грунтов и тепловые свойства этих грунтов, которые, в свою очередь, во многом зависят от их влажности. Существующие в настоящее время методы расчета глубины оттаивания почво-грунтов подробно рассмотрены и проанализированы применительно к торфяной залежи бугристых и полигональных болот в монографии [1]. Большинство авторов при решении системы уравнений теплопро-

водности краевым условием задают уравнение баланса тепла на границе промерзания и оттаивания:

$$\lambda_t \partial t_t(\tau)/\partial z - \lambda_m \partial t_m(\tau)/\partial z = i W_m \sigma \rho dH_{\text{отт}}/d\tau, (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности талого (индекс т) и мерзлого (индекс м) грунта, Вт/м.град; $\partial t(\tau)/\partial z$ – распределение температуры в талом и мерзлом грунте, град/см; σ – удельная теплота плавления льда, дж; i – льдистость, в долях единицы; W_m – объемная влажность мерзлого слоя торфа, %; ρ – плотность льда, г/см³; $dH_{\text{отт}}/d\tau$ – интенсивность оттаивания ($H_{\text{отт}}$ – глубина оттаивания, см; τ – время оттаивания, сут).

Обычно с достаточной для практических расчетов точностью закон распределения температур по глубине заменяют линейным и реальный температурный градиент $\partial t_T(\tau)/\partial z$ принимают таким же, как для стационарного распределения температуры ($\partial t_T(\tau)/\partial z \approx t_n/H_{\text{отт}}$). Поэтому расчет притока тепла (q_T) к границе протаивания рассчитывается по уравнению:

$$q_T = \lambda_T t_n / H_{\text{отт}} \quad (2)$$

Решая уравнение (1) через глубину оттаивания торфяной залежи для расчетного интервала времени, равного одним суткам, с учетом (2) запишем:

$$\Delta H_{\text{отт}} = (\lambda_T t_n / H_{\text{отт}} - \lambda_M \Delta t_M / \Delta Z) / i \sigma W_M \quad (3)$$

Коэффициент теплопроводности талого слоя зависит от его объемной влажности и в меньшей степени от температуры торфяной залежи. Средняя температура талого слоя торфяной залежи за теплый период по данным наблюдений изменяется от 0 до 10°C. При средней влажности торфяной залежи 30-60% влияние температуры на точность определения коэффициента теплопроводности не превысит 10% [2], и, следовательно, влиянием температуры при расчете λ_T в первом приближении можно пренебречь.

Зависимость коэффициента теплопроводности талого слоя полигональных болот от объемной влажности, полученная на основе исследований ГГИ, имеет следующий вид:

$$\lambda_T = 4,05 \cdot 10^{-4} W_T + 0,452 \quad (4)$$

где W_T – объемная влажность талого слоя торфяной залежи, %.

Коэффициент теплопроводности мерзлого слоя (λ_M) получен на основании лабораторных исследований образцов торфа, отобранных на полигональных болотах. Зависимость λ_M от W_M имеет вид:

$$\lambda_M = 0,08 \exp(0,0388 W_M) \quad (5)$$

Градиент температуры в мерзлом слое полигональных болот, величина мало изменяющаяся во времени и поэтому может быть принят постоянным и равным, по данным наблюдений, 2 град/м. Таким образом, отток тепла в мерзлую залежь оценивается в среднем за теплый период 3,0 Вт/(м² град).

Льдистость торфяной залежи полигональных болот, то есть отношение веса льда к весу общего количества воды в торфе, зависит от температуры торфяной залежи и ее влажности. Поскольку таяние торфяной залежи происходит при температурах, близких к 0°C, общее количество льда в единице объема (iW_M) будет определяться лишь влажностью торфяной залежи. Влажность мерзлой торфяной залежи после таяния снежного покрова, кроме самого верхнего (5 см) горизонта, составляет $80 \pm 3\%$. Поэтому количество льда в единице объема при температуре, близкой к 0°C, и влажности полного насыщения ($80 \pm 3\%$) по данным лабораторных определений льдистости равно 0,64. Верхний 5 см очесный слой на полигонах, как правило, имеет весьма незначительную влажность и протаивает при сходе снежного покрова, а на мочажинах указанная влажность мерзлой торфяной залежи ($80 \pm 3\%$) наблюдается от самой поверхности.

Удельная теплота плавления льда (σ) и его плотность (ρ) величины постоянные и при расчете принимаются соответственно равными 335 Дж/г и 0,92 г/см³.

Методы расчета температуры верхнего 5-ти см слоя для полигональных болот подробно рассмотрены в монографии [1].

Наибольшие трудности встречает расчет влажности талого слоя торфяной залежи.

В отличие от минеральных грунтов, твердая составляющая торфяной залежи не превышает 1-7%, остальную часть занимает вода и воздух. В связи с этим, как указывалось ранее, целесообразно рассматривать не весовую, а объемную влажность торфяной залежи, то есть количество воды в определенном объеме ненарушенного торфяного образца.

Влажность торфяной залежи полигональных болот, являющаяся наиболее изменчивой

характеристикой водного режима, определяется уровнем болотных вод, толщиной талого слоя, плотностью торфа и очеса.

Расчет влагосодержания торфяной залежи на полигональных болотах встречает ряд трудностей, связанных в основном с пространственной изменчивостью высот микрорельефа поверхности полигона и микрорельефа поверхности мерзлоты, зона развития которых составляет 30-40 см. При близком залегании мерзлоты к дневной поверхности (45-60 см в конце теплого периода) и развитием микрорельефа болота наблюдается весьма пестрая картина распределения влаги по площади полигона.

Наблюдения за влажностью торфяной залежи в зоне полигональных болот проводились в полигонально-валиково-мочажинном и полигонально-трещиноватом микроландшафтах. В деятельном горизонте торфяной залежи полигональных болот можно выделить три различающихся между собой слоя: от поверхности до глубины 5-10 см – очёсный, с малой степенью разложения; с 10 до 20 см – переходный, со средней степенью разложения; и с 20 см до подошвы сезонно талого слоя – нижний, состоящий из средне и сильно разложившегося торфа.

С целью изучения пространственной изменчивости микрорельефа полигональных болот, а также пространственной и временной изменчивости микрорельефа поверхности мерзлоты выполнялись многолетние наблюдения за оттаиванием торфяной залежи на закрепленных профилях совместно с нивелировкой микрорельефа поверхности.

Анализ полученных материалов показал, что профили поверхности мерзлоты повторяют профили поверхности полигонов. Это обстоятельство позволяет анализировать положение уровней болотных вод относительно поверхности болота и поверхности оттаивающей мерзлоты, используя совмещенные кривые обеспеченности этих поверхностей (рис. 1).

(F_1 – вода в микропонижениях поверхности полигонов, F_2 – вода в зоне аэрации, F_3 – вода в зоне полного насыщения, F_4 – вода, образовавшаяся при таянии мерзлоты).

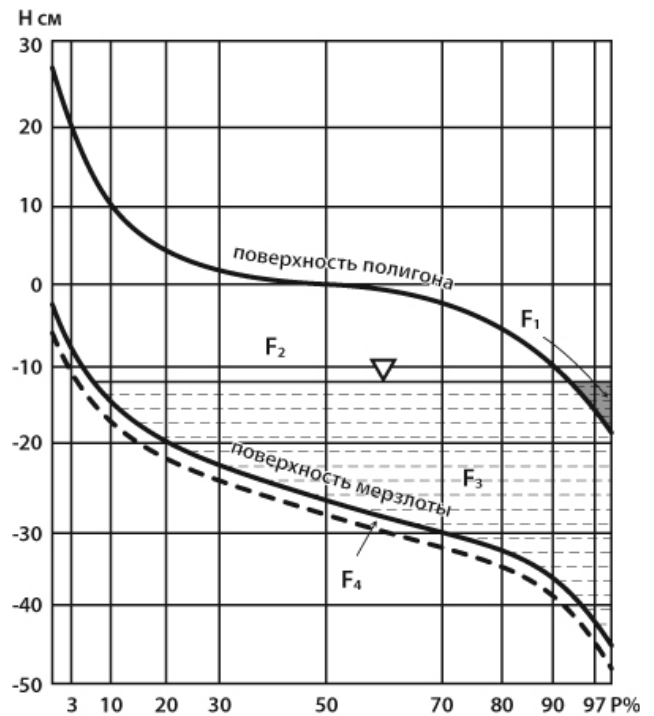


Рис. 1. Совмещенные кривые обеспеченности поверхностей полигона и мерзлоты.

Результаты нивелировки поверхностей микрорельефа полигональных болот показали, что статистическое распределение высот микрорельефа поверхности полигонов может быть охарактеризовано следующими мерами рассеивания:

Для южной части полуострова Ямал:

полигон с мочажинной: $\sigma = 16$ см, $C_s = 0$

полигон без мочажинной: $\sigma = 12$ см, $C_s = 0$

Для северной части полуострова Ямала:

полигон с мочажинной и полигон без мочажинной: $\sigma = 5$ см, $C_s = 0$

В отличие от кривых обеспеченности микрорельефа поверхности полигона, практически не изменяющихся во времени, кривые обеспеченности поверхности мерзлоты по мере оттаивания торфяной залежи закономерно изменяются. Анализ материалов наблюдений позволил выявить закономерности их изменения и записать их в виде:

Для южной части полуострова Ямал:

полигон с мочажинной: $C_v = 24,2/H_{\text{отт}} + 3,5$,
 $C_s = -1,2$ (6)

полигон без мочажины: $C_v = 12,6/H_{\text{отт}} + 1,9$,
 $C_s = -0,1$ (7)

Для северной части полуострова Ямал:

полигон с мочажинной и полигон без мочажины: $C_v = 10/H_{\text{отт}}$, $C_s = -1,0$ (8)

где $H_{\text{отт}}$ – глубина оттаивания торфяной залежи бугров на конкретные сутки, см.

Влагосодержание талого слоя торфяной залежи на бугре ($W_{\text{общ}}$) определяется по зависимости:

$$W_{\text{общ}} = W_{\text{св}} + W_{\text{за}} + W_{\text{пн}} + W_{\text{т}} \quad (9)$$

где $W_{\text{св}}$ – вода в микропонижениях поверхности полигонов, $W_{\text{за}}$ – вода в зоне аэрации, $W_{\text{пн}}$ – вода в зоне полного насыщения, $W_{\text{т}}$ – вода, образовавшаяся при таянии мерзлоты.

Вода на поверхности полигона, которая скапливается в наиболее пониженных частях микрорельефа, обычно наблюдается лишь в весенний период при минимальной глубине оттаивания.

Влагосодержание зоны аэрации ($W_{\text{за}}$, мм) определяется по зависимостям следующего вида:

Для южной части полуострова Ямал

$$W_{\text{за}} = 1,10 Z^{0,825}, \text{ (полигон)} \quad (10)$$

$$W_{\text{за}} = 0,97 Z^{0,90}, \text{ (топь)} \quad (11)$$

Для северной части полуострова Ямала

$$W_{\text{за}} = 0,80 Z^{0,90} \text{ (полигон)}, \quad (12)$$

где Z – уровень болотных вод, см.

В бездождные периоды происходит снижение уровня болотных вод на полигонах до поверхности многолетнемерзлого слоя и, как следствие, исчезновение в талом слое гравитационных вод, при этом за счет испарения, происходит иссушение талого слоя торфяной залежи. Наблюдения, проведенные при от-

сутствии гравитационных вод, свидетельствуют об уменьшении объемной влажности зоны аэрации на полигонах на 6-8%, в мочажинах – на 11%, в сравнении с влажностью зоны аэрации рассчитанной по формулам 10-12. Однако степень иссушения деятельного слоя торфяной залежи полигональных болот не достигает значений наименьшей влагоемкости, составляющей для полигональных болот в среднем 55% от объёма.

Анализ послойных определений влажности полного насыщения в талом и мерзлом слое показывает, что ниже верхнего 10-ти см очесного слоя значения влажности полного насыщения имеют небольшую амплитуду изменений с глубиной (4-6%) и на полигонах составляют: для талой торфяной залежи на полуострове Ямал 80-84%, а для мерзлой торфяной залежи – 72-76%. На мочажинах как для юга, так и для севера полуострова Ямал влажность полного насыщения составляет 84% для талой залежи и 76% для мерзлой залежи. Влажность полного насыщения очесного горизонта оценивается в 80-90%.

Следует отметить, что на севере Ямала максимальная мощность торфяной залежи полигональных болот составляет всего 20-25см. Подстилающие минеральные грунты имеют существенно меньшую влажность и большую теплопроводность по сравнению с торфяной залежью. Поэтому оттаивание почво-грунтов (торф + минеральный грунт) на болотах севера в однородных микроландшафтах больше, чем на юге, несмотря на меньшее количество тепла, приходящее на границу раздела атмосфера-грунт.

Используя полученные зависимости, были рассчитаны глубины оттаивания на различных элементах полигональных болот. В качестве иллюстрации в табл.1 приведены результаты расчета глубины оттаивания полигона в полигонально-мочажинном микроландшафте за декадные интервалы времени.

Таблица 1

Результаты расчета глубины оттаивания для мохово-кустарничково-лишайникового полигона на юге Ямала за 1990 г.

Месяц	Декада	Z, см	W, %	T _в , °С	H _{отг} , см	
					Расчет.	Набл.
июнь	2	-10	76	8,1	16	15
	3	-20	68	5,8	19	20
июль	1	-35	64	14,9	24	28
	2	-56	60	22,4	40	36
	3	-57	59	17,5	44	39
август	1	-55	60	12,8	45	41
	2	-42	62	8,0	47	43

Как следует из таблицы 1, максимальная невязка рассчитанных и измеренных величин за весь теплый период не превышает 5 см, то есть в среднем ошибка расчета максималь-

ных глубин оттаивания полигональных болот составляет 7-10%, что позволяет использовать предложенный метод для практических расчетов.

Список литературы

1. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. Под редакцией С.М.Новикова. – СПб ВВМ. 2009. 536 с.
2. Павлова К.К. Тепловые свойства деятельного слоя болот. – Труды ГГИ, 1969.- Вып.177. – С.119-155.