

**Таблица 5.** Площадь водного зеркала микропонижений, м<sup>2</sup>

Годы	Номер исследуемой точки					
	1	2	3	4	5	6
1986	80,0	480	8100	200	1400	1040
1987	800,0	680	11000	500	2450	1230

Запас воды в снеге определен путем проведения снегомерной съемки, а сумма осадков принята по данным метеостанции Хвоецкое, таблица 6.

**Таблица 6.** Запас влаги на опытном участке в период снеготаяния

Годы	Осадки, мм	Запас воды в снеге, мм	Сумма, мм
1986	0,3	47,0	47,3
1987	3,0	52,5	55,5

Деление объема стока в микропонижении на площадь зеркала дает среднюю глубину воды в микропонижении. Превышение (снижение) воды в микропонижении над слоем влаги на период снеготаяния приведено в таблице 7.

**Таблица 7.** Баланс уровней воды в микропонижении, мм

Годы	Номер исследуемой точки					
	1	2	3	4	5	6
1986	+2,7	-20,3	-21,6	-24,1	15,65	-15,15
1987	+0,2	+6,26	+3,88	+4,5	-3,98	+13,6

Как следует из таблицы, для точек 2, 3, 4, 6 в 1986 году и точки 5 в 1987 году слой стока в микропонижении сформировался за счет водосборной площади затопленного микропонижения, так как средний уровень воды в микропонижении был ниже суммарного значения запаса воды в снеге и слоя осадков в эти годы. Имел место сток по подошве подпахотного горизонта, так как аккумулирующая способность пахотного слоя обеспечивала его поглощение. Значения средних уровней воды в микропонижении со знаком «плюс» определяют тот факт, что имел место сток, как по подошве подпахотного горизонта, так и по поверхности. Аккумулирующая способность пахотного слоя была в этом случае недостаточной. Таким образом, даже для малообеспеченных по осадкам лет (81% в 1986 году и 71% в 1987 году соответственно), имел место явно не выраженный поверхностный сток.

**Таблица 8.** Расчетные и опытные значения междренного расстояния для бассейна р. Бобриск

Горизонт отбора образцов почвы, см	Междренные расстояния, м			
	По формуле Аверьянова	По формуле Костякова	Практическое	Принятое при первичном осушении
0-10	19,37	12,56		
10-20	13,11	5,75		
20-30	12,65	5,36	25,0	40
30-40	17,32	10,03		
40-50	21,76	15,83		
50-60	18,26	11,16		
60-70	25,64	21,98		
70-80	36,22	43,87		

Материал поступил в редакцию 25.02.14

**GLUSHKO K.A., GLUSHKO K.K. Features of design of the drainage at reconstruction of meliorative systems on the drained peat bogs and engineering actions for increase of efficiency of its work**

Reasons of forming of vertical type of peatbogs are expounded having the protracted term of exploitation. It is marked that the dense layer of soil, being an obstacle for infiltration of the melted waters, appears in the process of the agricultural use. He is instrumental in forming of superficial flow on the depth of ploughing.

УДК 553.97

**Глушко К.А., Глушко К.К.**

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОМЕРЗАНИЯ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ**

**Введение.** Глубина промерзания почвы в предвесенний период определяет в значительной степени величину потерь талых вод на инфильтрацию. Характер хода нулевой изотермы в мерзлом слое почвы во времени непостоянный и определяется балансом теплопо-

Различие водопроницаемости торфа требует выбора соответствующего горизонта, относительно которого следует вести расчет междренного расстояния. При разработке проектов первичного осушения выбор горизонта почвы с расчетным значением коэффициента фильтрации не является определяющим, так как торф по профилю имеет практически одинаковую проницаемость. Для оценки этого фактора определены междренные расстояния по формуле Аверьянова, Костякова и сопоставлены со значениями практического расстояния и расстояния, принятого при первичном осушении. Результаты расчетов приведены в таблице 8.

При разнящихся значениях междренного расстояния, рассчитанного по формулам различных авторов, общим является то, что минимальное его значение соответствует подпахотному горизонту. Расчетные значения по таблице 8 отличаются от принятых в 4–8 раз.

Проектирование и строительство дренажа с междренным расстоянием 10–15 м является экономически затратным и в практике на торфяных почвах не используется.

**Заключение.** Для обеспечения осушительного эффекта следует:

провести комплекс инженерных мероприятий, обеспечивающих восстановление водопроницаемости торфа, в частности повышение фильтрационной способности подпахотного слоя

В качестве инженерных мероприятий по разрушению уплотненного подпахотного слоя могут быть: глубокая вспашка, глубокая вспашка с пескованием, щелевание, применение новых технологий обработки почвы, регулирование поверхностного стока.

Одним из эффективных устройств, обеспечивающих повышение локальной водопроницаемости участков, является устройство буровых скважин до подстилающего горизонта с последующим заполнением их соломой преимущественно ржаной из заготовленных предварительно снопов таким образом, чтобы они образовывали нисходящие потоки поверхностных вод. Частота таких скважин определяется локальными свойствами участка с повышенной влажностью. Продолжительность работы такой скважины, как показывает практика, 4–5 лет.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Глушко, К.А. Исследование инфильтрации талых вод на осушаемых торфяниках: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / К.А. Глушко. – Мн.: БелНИИМВХ, 1996. – 21 с.

токов – атмосферы и земли. Мощность мерзлого слоя и запас холода в нем определяют возможность блокировки инфильтрующей талой воды, приводя к формированию преимущественно поверхностного стока. Неравномерность промерзания почвы по площади формирует различный тепловой режим на сельскохозяйственных угодьях и обуславливает разновременность подготовки ее к весеннему севу.

Для решения ряда практических задач некоторые авторы [1, 2, 3] предлагают эмпирические формулы расчета глубины промерзания почвы от суммы отрицательных температур воздуха и мощности снежного покрова. В итоге имеем постоянный рост глубины промерзания почвы с накоплением суммы отрицательных температур вне зависимости от хода температур во времени. Наблюдаются частые и глубокие зимние оттепели, приводящие нередко практически к полному оттаиванию почвы в конце декабря, либо в январе – начале февраля. Поэтому данная погодная аномалия накладывает определенные ограничения на правомерность подобного подхода. Как считает автор работы [4], «актуальной является разработка непрерывного расчета изменения во времени толщины мерзлого слоя почвы, начиная с осени». Однако в полученной им формуле отсутствует физическое обоснование процесса промерзания почвы, поэтому формула громоздка и неудобна в пользовании.

Глубина промерзания почвы на текущий момент времени, как предлагает автор [4], представляет собой алгебраическую сумму приращений мерзлоты за каждый расчетный период времени.

$$h_m = \sum h_i. \quad (1)$$

В основу расчетной модели положены некоторая наблюдаемая неоднократно на практике физическая закономерность, которая позволила полно отобразить процесс промерзания и оттаивания почвы. Наблюдаемое физическое явление проявляется в том, что при отрицательной температуре, но более высокой чем в предыдущий период времени, тоже отрицательной по величине, имеет место оттаивание почвы с нижнего горизонта. Факт установлен автором путем непрерывного посуточного измерения температуры почвы глубинными вытяжными термометрами на Полесской опытно-мелиоративной станции. Этот факт не учитывается ни в одной из эмпирических формул. Объясняется это, на наш взгляд, активным притоком тепла из глубинных горизонтов при резком уменьшении градиента температур. Хотя многие формулы, в том числе и вышеприведенная, учитывают этот момент как увеличение глубины промерзания, так как наблюдается прирост суммы отрицательных температур.

Предлагаемая модель основана на балансе тепловых потоков: за границе расчета тепловых потоков принята нулевая изотерма, положение которой переменено во времени. Процесс промерзания рассматривается как неустановившийся. Однако в силу того, что данные метеостанций, например, по температуре воздуха, выводятся в виде среднесуточной величины, то допускаем, что физические и тепловые свойства на этот период времени тоже постоянны, а процесс промерзания на рассматриваемом промежутке времени – как установившийся.

Для данного промежутка времени можно записать, что тепловой поток, приходящий через слой снега и мерзлой почвы до нулевой изотермы, равен [5]

$$-g_1 = \frac{\Delta t}{\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_m}{\lambda_m}} - \frac{\Delta t_{cp}}{\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_m}{\lambda_m}}, \quad (2)$$

где  $\Delta t_{cp}$  – перепад температуры, равный среднесуточной температуре поверхности снега, °С;

$h_c, h_m$  – толщина слоя снега и мерзлой почвы, см;

$\lambda_c, \lambda_m$  – теплопроводность снега и мерзлой почвы, Вт/°С.

Навстречу направлен глубинный тепловой поток земли.

$$+g_2 = \frac{\Delta t}{\frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{h_i}{\lambda_i}} = \frac{\Delta t_{const}}{\sum_1^n \frac{h_i}{\lambda_i}}, \quad (3)$$

где  $\Delta t$  – градиент температуры, равный примерно постоянной температуре грунта на глубине 10 м, °С;

$\lambda_i$  – теплопроводность  $i$ -го слоя земли, Вт/°С.

Суммарный тепловой поток за расчетный период запишется в виде:

$$g = -g_1 + g_2. \quad (4)$$

Тепловой поток  $g$  переменный по знаку, так же как и температура воздуха. Тепловой поток земли всегда положительный. При значительной (после очень низкой) температуре воздуха срабатывает «поршневой эффект», когда накопленный запас холода воздает теплоток, направленный в атмосферу, превышающий теплоток из нее. Отток холода способствует изменению баланса тепла на уровне нулевой изотермы в пользу глубинного теплотока земли. Следствием этого является оттаивание почвы снизу при отрицательной температуре воздуха сверху. Выразим приращение глубины промерзания  $\Delta h$  как функцию результирующего теплотока

$$\Delta h = f(g) \quad (5)$$

или

$$\Delta h = f \left[ \frac{\Delta t_{cp}}{\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_m}{\lambda_m}} + \frac{t_{const}}{\sum_1^n \frac{h_i}{\lambda_i}} \right]. \quad (6)$$

Обработка результатов измерений за десятилетний период, по данным болотной метеостанции ПОМС, и измеренной глубины промерзания по 10 мерзлотомерам за двухлетний период наблюдения на опытном участке позволили установить общую закономерность распределения связи этих двух функционально зависимых величин. График связи приведен на рисунке 1. Данная зависимость для стадии промерзания и оттаивания аппроксимируется уравнением вида

$$y = Arshx - \ln(x + (x^2 + 1)^{0.5}). \quad (7)$$

Тогда выражение для определения приращения суточной мерзлоты примет вид:

$$\Delta h = 0,00345 \left[ \left( \frac{\Delta t_{cp}}{\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_m}{\lambda_m}} + \frac{t_{const}}{\sum_1^n \frac{h_i}{\lambda_i}} \right) + \left( \left( \frac{\Delta t_{cp}}{\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_m}{\lambda_m}} + \frac{t_{const}}{\sum_1^n \frac{h_i}{\lambda_i}} \right)^2 + 1 \right)^{0.5} \right]. \quad (8)$$

Коэффициент корреляции связи равен 0,87.

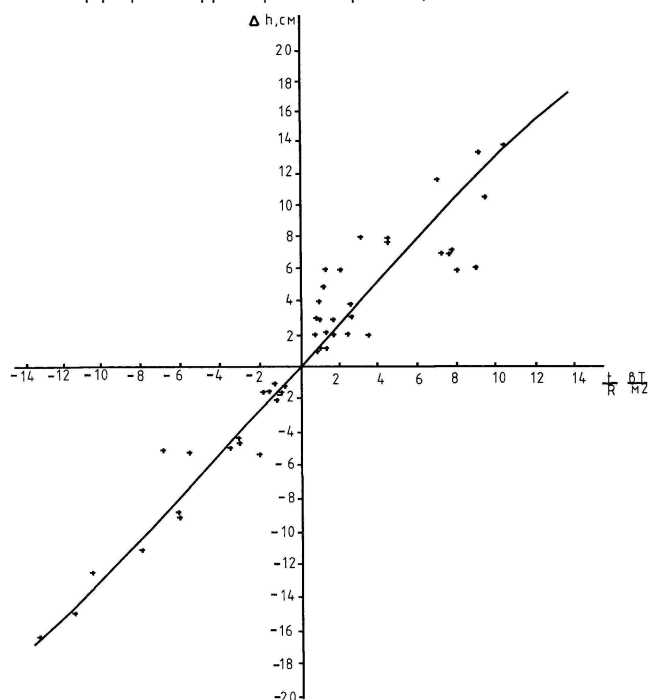


Рис. 1. Зависимость приращения мерзлого слоя от отношения температурного перепада к температурному сопротивлению

Проверка работы уравнения проводилась по независимому 1987–1988 году наблюдения. Первое значение приращения глубины промерзания соответствует глубине промерзания и определяется подбором. В последующем значении глубины промерзания соответствует интегральной величине предыдущих приращений мерзлоты. Результаты расчета суточного изменения глубины промерзания приведены на рисунке 2. Отклонение расчетных значений от наблюдаемых можно объяснить не только недостатками данной формулы, но и отсутствием данных о посуточной мощности снега, а именно его плотности. Плотность снега является наиболее весомым фактором, так как от нее напрямую зависит теплопроводность снега. Теплопроводность снега принималась по известной плотности по рекомендациям [6]. При плотности снега  $\rho_c < 350 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda_c = 2,85 \cdot 10 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C},$$

а при плотности снега  $\rho_c > 350 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda_c = 3,56 \cdot 10 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}.$$

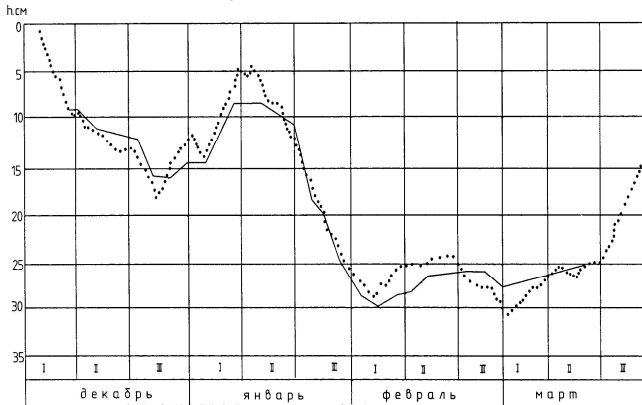


Рис. 2. Измеренные и рассчитанные глубины промерзания

Предлагаемая расчетная формула довольно полно учитывает водно-физические и тепловые свойства почвы. Необходимые расчетные данные могут быть получены экспериментальным путем или по научной или справочной литературе.

Выявленная закономерность и установленная зависимость формирования профиля мерзлой почвы в точке еще не дают полного представления об условиях его образования в пространстве. Суть заключается в том, что по данным полевых исследований автора, даже при незначительной разбежке по местности, глубина промерзания различается. Сказывается влияние разной мощности снега, его плотности, влажности и плотности почвы, положение уровня грунтовых вод.

Исследование глубины промерзания проводилось по десяти мерзлотометрам Данилина. Параллельно, в местах установки мерзлотометров производилось измерение мощности снежного покрова. Температура почвы измерялась в одной из точек установки лизиметрического оборудования. Для получения качественной характеристики пространственной неравномерности распределения глубины промерзания, в предвесенний период симметрично коллектору К-14 на участке 260 м в длину и 150 м в шириной (включающем в себя и опытный участок) разбивалась прямоугольная сетка с разбивкой пикетажа в узловых точках. Каждый прямоугольник имел 50 м в длину и 40 м в ширину. В каждой из полученных таким образом 28 точек измерялась глубина промерзания методом шурфования по годам исследований. Анализ результатов измерений позволил установить, что характер распределения глубин промерзания почвы выраженный в относительных единицах (по отношению к максимальной глубине промерзания на год исследования), на протяжении трехлетнего периода наблюдений повторяется в пределах точности измерения. На рисунке 3 приведена карта распределения глубин промерзания в относительных единицах на наблюдаемом участке.

Для выяснения столь явно выраженной закономерности был проведен анализ данных измерений глубины промерзания почвы, полученные с помощью мерзлотометров Данилина, исследовались такие частные связи, как зависимость глубины промерзания от суммы отри-

цательных температур, максимальной глубины промерзания от средневзвешенной высоты снежного покрова, максимальной глубины промерзания от влагозапасов в слое 0–40 см в предпаводковый период, максимальной глубины промерзания от уровня грунтовых вод.

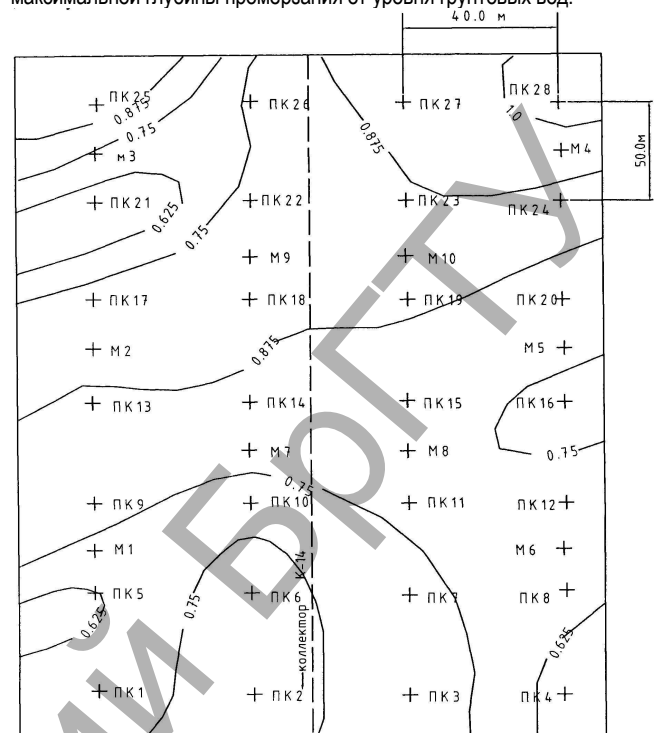


Рис. 3. Карта распределения средних глубин промерзания почвы на опытном участке, выраженная в относительных единицах к максимальной глубине промерзания

Анализ частных графических зависимостей показал, что частная зависимость глубины промерзания от отдельного фактора сильно различается. Так, например, для зависимости максимальной глубины промерзания от уровня грунтовых вод намечается только тенденция этой зависимости. Причем характер этой зависимости мало выражен для зим 1986 и 1987 гг. с устойчивым снежным покровом и более ярко выражен для бесснежной зимы 1988 г. Коэффициент связи невысокий и не превышает 0,23. Близкая величина корреляционной связи и для зависимости максимальной глубины промерзания от влажности почвы в слое 0–40 см. Более точно опытные точки располагаются в бесснежную зиму 1988 года. Отсутствие снега обеспечивало более равномерное накопление влаги почвой.

Более тесная связь наблюдается между максимальной глубиной промерзания и средневзвешенной высотой снежного покрова, также между максимальной глубиной промерзания и суммой отрицательных температур воздуха. В первом случае коэффициент корреляции составляет 0,55, а во втором 0,66. Аппроксимируются они соответственно уравнениями вида

$$y = a \cdot x^b. \tag{7}$$

Анализ зависимостей позволил выявить наиболее весомые факторы – высоту снежного покрова и сумму отрицательных температур воздуха, оказывающих наиболее весомое влияние на формирование мерзлого слоя почвы.

Устойчивый характер распределения глубины промерзания, выраженный в относительных единицах, очевидно, можно объяснить устойчивым во времени характером распределения вышеуказанных факторов, определяющих глубину промерзания почвы.

Параллельно производились исследования глубины промерзания в бороздах и смежных точках на загонах с целью получения их сравнительной характеристики. Глубины промерзания определялись осенью и в предпаводковый период по 6 переречникам борозд. Место отбора на загоне было удалено от места отбора в борозде по створу на расстояние 4–5 м. По результатам обработки материала

было установлено, что в осенний бесснежный период нарастание мерзлоты в борозде и на загоне идет с одинаковой скоростью и глубина в них колеблется в пределах точности измерений. В весенний период ситуация изменяется. Мощность мерзлого слоя почвы в борозде меньше в среднем в 1,5-2,0 раза по сравнению с загонем. Из этого следует, сколь значительное утепляющее влияние оказывает снежный покров в условиях микрорельефа. Такую же закономерность на минеральных и торфяных почвах наблюдали многие авторы [7, 8, 9], результаты которых согласуются с полученными.

#### Заключение.

1. Процесс промерзания почвы неустановившийся во времени. Баланс теплоточков атмосферы и земли определяют динамику промерзания почвы. Наблюдается оттаивание почвы со стороны ее нижнего горизонта при повышении температуры воздуха, но сохранении отрицательного значения.
2. Характер распределения пространственной неравномерности промерзания сохраняется по годам и обусловлен микрорельефом почвы.
3. Глубина промерзания в борозде в 1,5–2,0 раза меньше чем на загоне, что пропорционально увеличению мощности снега.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Роман, Л.Г. Теплофизические свойства талых и мерзлых заторфованных грунтов и сжимаемость их при оттаивании / Л.Г. Ро-

ман // Инженерная геокриология (мерзотоведение). – М., 1973. – Т. 24. – С. 83–103.

2. Шебеко, В.Ф. Промерзание осушаемых болот / В.Ф. Шебеко, А.И. Киселева // Труды ин-та БелНИИМВХ. – 1976. – Вып. XXIV – С. 151–161.
3. Шебеко, В.Ф. Изменение микроклимата под влиянием мелиорации болот / В.Ф. Шебеко. – Мн.: Наука и техника, 1977. – 286 с.
4. Лазарчук, П.А. Оптимизация расчета осушительно-увлажнительных систем и управление ими: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 06.01.02 / Н.А. Лазарчук; БелНИИМВХ. – Мн., 1992 – 40 с.
5. Пехович, А.И. Расчет теплового режима твердых тел / А.И. Пехович, В.М. Жидких. – Л.: Энергия, 1968. – 303 с.
6. Пехович, А.И. Основы гидроледотермики. – Л.: Энергоатомизда, Ленинградское отделение, 1983.
7. Нересова, З.А. Инструктивные указания по определению количества незамерзшей воды, льда в мерзлых грунтах: материалы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов. – М., 1954. – Вып. 2. – С. 55–57.
8. Рудой, А.У. Промерзание и оттаивание дренированных дерново-подзолистых почв тяжелого механического состава / А.У. Рудой // Мелиорация переувлажненных земель. – Мн.: Ураджай, 1976. – Т. XXIV. – С. 123–129.
9. Шульгин, А.М. Снежная мелиорация и климат почвы / А.М. Шульгин. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 68 с.

*Материал поступил в редакцию 25.05.14*

#### **GLUSHKO K.A., GLUSHKO K.K. Detection of regularities of frost penetration in the peat soil**

Conformities to law of the frozen solid of peat soil are exposed in a point and space. The method of continuous calculation of depth of the frozen solid of soil is offered. The estimation of warming role of snow is Given.