

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 631.619(571.56)

ЕСТЕСТВЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОГИХ ТУНДРОВЫХ
СКЛОНОВ ПРИ НАРУШЕНИИ ПОКРОВА ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ТЕПЛОВОЙ МЕЛИОРАЦИИ

В. С. Кривощёков

Научно-исследовательский центр Чукотка ДВО РАН, 686710, Анадырь, Россия

В связи с активизацией практики северного земледелия проявляется большой научный и практический интерес к разработке новых эффективных технологий по тепловой мелиорации мерзлотных почв. Такие технологии позволяют увеличить биопродуктивный теплооборот и улучшить почвенный климат при сохранении устойчивости ММП к тепловым воздействиям в виде дозированных техногенных нагрузок. Особенно эффективно действие тепловой мелиорации на пологих тундровых склонах. В течение четырех лет на полигоне Озерный НИЦ Чукотка, в пригороде г. Анадырь проводился научно-производственный эксперимент по освоению тундровых склонов по новой технологии тепловой мелиорации [Кривощёков, 1996]. По результатам исследований мощность СТС на опытных полях увеличилась в среднем на 30—40 %, изотерма активных температур более 5 °С понижалась до 40 см в течение 45 дней, коэффициент эффективности теплооборота улучшился на 30—40 % за указанный период. Пологий склон (2—12°) рассматривается как один из факторов устойчивости, препятствующий аккумуляции влаги на поверхности поля и активизации криогенных процессов.

Пологий склон, тепловая мелиорация, глубина сезонного протаивания, радиационный баланс, тепловой поток в почву, тепловой режим, вертикальное электрическое и радиолокационное зондирование

NATURAL STABILITY OF GENTLE TUNDRA SLOPES DURING THE DISTURBANCE
OF TOPSOIL BY THERMAL MELIORATION

V.S. Krivoshechekov

Scientific Research Centre Chukotka Far-Eastern Division, 686710, Anadyr, Russia

In connection with the increase in agricultural activities in the Arctic there is a significant scientific and practical interest to the development of effective new technologies for thermal melioration of permafrost soils. Such technologies increase bioproductive heat exchange and improve soil climate with preservation of the permafrost stability under thermal influences in the form of limited technogenic loads. Thermal melioration is particularly effective on gentle tundra slopes. New thermal technologies for the reclamation of tundra slopes [Krivoshechekov, 1996] have been tested for four years at the testing site Ozernyi of the Scientific Research Centre of Chukotka, situated outside the town of Anadyr. Results of this research showed the depth of seasonal thawing in the experimental field increased on the average by 30—40%, the isotherm of active temperatures higher than 5 °C reduced to 40 cm in 45 days, and the coefficient of effective heat exchange improved by 30—40 % for the same period. Gentle slope (2—12°) will be discussed as one of the factors contributing to stability, hindering the accumulation of dampness on the surface of the field and the activation of cryogenic processes.

Gentle slope, thermal melioration, depth of seasonal thawing, radiation balance, thermal flux in the ground, thermal rate, vertical electrical and georadiolocation sounding

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Значительная часть исследований по гидротермическому режиму и тепловому балансу как естественного, так и нарушенного покрова (ландшафта), относится к равнинному рельефу. Данному направлению исследований посвящено большое количество работ. На Чукотке и в соседних регионах Якутии и Магаданской области

эти исследования выполнялись И.В. Игнатенко и др. [1978], А.В. Павловым и Б.А. Оловинным [1974], А.В. Павловым [1984], П.П. Гаврильевым [1991], Д.Д. Саввиновым и К.Е. Кононовым [1981], С.В. Томирлиаро [1972].

Изучение радиационного режима склонов, в том числе и пологих разноориентированных,

остаётся пока мало освещённым [Потанов и др., 1991]. Причём значительная часть существующих исследований склонов основана на расчётных данных [Павлов, 1984]. Это связано не только со сложностью теоретических исследований радиационных процессов на склонах, но и с определёнными трудностями при проведении экспериментальных исследований.

Недостаточная изученность отмечается и в отношении проведения комплексных теплобалансовых наблюдений за тепловым режимом грунтов на склонах в зоне распространения ММП [Павлов, 1984]. В соседнем с Чукоткой регионе — Якутии исследования теплового режима грунтов на склонах проводились П.П. Гордеевым [1975], М.К. Гавриловой [1978], но наиболее полные комплексные теплобалансовые и гидрометрические исследования в Якутии проводились П.Н. Скрыбиным и С.П. Варламовым [1982]. Однако результаты их исследований отражают динамику теплового режима для поверхностей с ненарушенным, естественным почвенно-растительным покровом на пологих склонах 7—12° с различной экспозицией.

Подобных исследований, но для пологих тундровых склонов с нарушенной поверхностью в субарктической зоне Якутии и Чукотки ещё никем не проводилось. Поэтому результаты, изложенные в настоящей статье, — первая попытка таких исследований в условиях Чукотки.

При сельскохозяйственном освоении пологих тундровых склонов в Анадырском районе ЧАО (выращивание многолетних трав под сенокосные угодья, редиса, репы и других овощных культур, зерновых культур на зелёный корм) необходимо изучение динамики теплового режима мерзлых грунтов и микроклимата почвы в связи с агромелиоративными воздействиями на тундровый покров: измельчение кочки дисковыми боронами, внесение удобрений, посев семян, прикатывание катками, уборка урожая и т.д.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Опытно-экспериментальные работы по освоению участков тундры с пологими склонами проводились на территории агромелиоративного полигона Озерный НИЦ Чукотка (8 км от Анадыря) при участии и технической помощи пригородного совхоза Северный в течение 4-х лет. Научно-производственный эксперимент по освоению тундровых склонов проводился по новой технологии тепловой мелиорации [Кривошеков, 1996].

Исследования ученых последних лет [например, Куликов, 1988] показали, что коэффициент эффективности теплооборота в деятельном слое почвогрунтов на естественной тун-

дровой поверхности с мохово-торфяным покровом очень низкий и находится в пределах 0,6—0,7, понижаясь в некоторых случаях до 0,4. Дополнительный, неиспользованный резерв теплооборота в таких грунтах составляет 30—40%. Это те скрытые природные резервы по аккумуляции тепла почвой, которые можно реально использовать для улучшения теплоэнергетики почв, в частности, Чукотских почв.

Следовательно, чтобы улучшить почвенный климат или тепловой режим грунтов, необходимо увеличить тепловой поток в почву (В). Практическими исследованиями многих авторов установлено, что величина теплового потока в почву мало зависит от радиационного баланса (R) и его составляющих — турбулентного теплообмена (P) и испарения (E). Резервов для улучшения почвенного климата здесь практически нет.

Оказывается, что В очень чувствителен к изменениям теплофизических свойств почвогрунтов: коэффициентов теплопроводности (λ), объёмной теплоёмкости (C_p); к виду и характеру растительности, что выражается в толщине и тепловых свойствах напочвенного покрова и к влагосодержанию почвы. Искусственно воздействуя на указанные параметры среды, можно производить направленное изменение почвенного климата.

Изобретение автора [Кривошеков, 1996] как раз и позволяет с помощью приемов тепловой мелиорации изменить теплофизические характеристики почвенного слоя и, тем самым, существенно улучшить почвенный климат. Это выражается в увеличении до определенных, ограниченных пределов следующих его составляющих: глубины протаивания пород сезонно-талого слоя (СТС), глубины проникновения активной температуры 10 °С и ее продолжительности, теплоемкости корнеобитаемого слоя (биопродуктивного теплооборота), сроков вегетации, а также улучшения водно-воздушного режима почв.

Описание способа. Проведение работ по тепловой мелиорации тундровой поверхности пологого склона (2—12 °С) начинают весной по достижении необходимой оттайки мерзлого грунта до 20—30 см, чтобы обеспечить нормальную работу дисковых борон. Боронами типа БДТ-3, 2 обрабатывают поверхность склона в 4—6 следов, чтобы добиться хорошего измельчения кочки, мха и перемешивания этой органической массы с нижележащим минеральным грунтом до образования слоя глубиной 25—30 см с однородной комковатой структурой. После посева семян культур, внесения удобрений производят тщательное прикатывание тяжелыми катками с целью уменьшения испаряемости, укрепления поверхности поля и предотвращения водной эрозии.

Такие мелиоративные (техногенные) нагрузки на почвенный покров являются дозированными, не превышают определенный критический уровень, после которого начинают развиваться негативные процессы типа термоэрозии, солифлюкции, термокарста. Сезонное протаивание ($h_{\text{п}}$) в этом случае не превышает критическую глубину протаивания ($h_{\text{кр}}$), равную глубине залегания подземных льдов, а потому не трансформируется в многолетнее и может вызвать лишь незначительные термопросадки (5—10 см), не требующие специальных мер по выравниванию поверхности (засыпки, планировки). Процесс увеличения глубины сезонного протаивания (в течение 2—4 лет), вызванный действием техногенных нагрузок, будет носить затухающий характер, т.е. будет управляемым.

Категорически запрещается производить отвальную вспашку плугом тундровой поверхности или глубокое рыхление, щелевание, так как такого типа техногенные нагрузки превышают определенный критический уровень и способствуют развитию тепловой, водной эрозии и других более разрушительных явлений. Термопросадки от таких нагрузок уже в первый год освоения могут достигать 20—30 см, что потребует специальных мер по выравниванию поверхности. Таким образом, для предотвращения термокарстовых образований основное требование, которое следует выполнять при обработке тундровой поверхности пологих склонов по новому способу, — это измельчение грунта дискованием и многократное прикатывание.

После выполнения мелиоративных приемов первого года освоения (склонов) происходит резкое изменение теплового режима почвы за счет увеличения притока тепла в грунт. К концу теплового периода этого года отмечается максимальное увеличение мощности сезонного протаивания на 40—50 % с контролем (для условий Анадырского района). К концу второго года — 10—15 %, к концу 3—4 года — 5—10 %. С этого момента начинает устанавливаться уже новое стабилизированное состояние теплообмена верхнего деятельного слоя грунтов с окружающей средой — атмосферой и подстилающими многолетнемерзлыми породами и с постепенной стабилизацией среднегодовой температуры в СТС.

Опытно-производственные поля общей площадью 38 га расположены на поверхности увала, которая представляет собой обычную кочкарную мохово-лишайниковую тундру с пятнами-медальонами. Кустарничковая растительность представлена голубикой, багульником высотой до 0,1 м, карликовой березкой высотой до 0,25 м; кочки высотой 0,20—0,25 м. Литологический состав грунтов глубиной до 0,8 м — оторфованная супесь, в летний период талая. Ниже, до глубины 4,5 м, залегает высокольдистый суглинок с включением щебня. Ниже второго слоя, до отметки

17 м, залегают морские засоленные грунты. Это терригенные отложения от глин до песков с льдистостью 0,3—0,6. Ниже сезонно-талого слоя в 40—50 см залегают многолетнемерзлые породы и повторно-жильные льды.

Основной целью исследований было изучение влияния пологих склонов на устойчивость поверхностного покрова при изменении теплового режима СТС, глубины сезонного протаивания и микроклимата почвы, вызванных действиями тепловой мелиорации в виде дозированных техногенных нагрузок.

В соответствии с программой исследований наблюдения проводились на нескольких площадках, расположенных на полях 1-3 и на участке тундры 5 (контроль) (рис. 1). В пяти скважинах глубиной 3 м, расположенных на профилях ПР-1—ПР-3, проводились режимные наблюдения за температурой грунтов с помощью стационарных термогирлянд. По трем стационарным профилям ПР-1, ПР-3, ПР-5 на полях 1-3 и профиле ПР-2 на тундре (контроль) велись наблюдения за глубиной СТС и влажностью. На двух площадках — скв.3 (поле 1) и скв.1 (тундра, контроль) проводились измерения R и В. Кроме этого, было проведено исследование агрохимических (естественное плодородие почв), физико-химических свойств грунтов, жильного льда, снега и водных вытяжек грунтов с опытных полей.

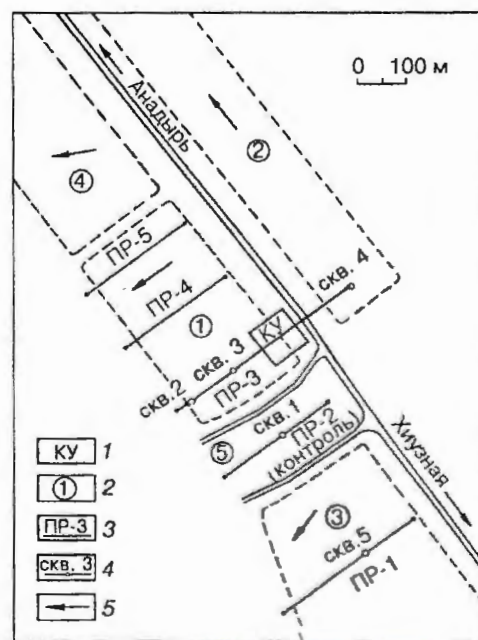


Рис. 1. Схема расположения опытно-производственных полей на пологих склонах (полигон Озерный НИЦ Чукотка).

1 — ключевой участок; 2 — опытно-производственное поле; 3 — стационарный профиль; 4 — стационарная термометрическая скв. гл. 3 м; 5 — направление общего уклона.

Методами георадиолокационного высокочастотного (17 ГРЛ 1) и вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) изучалось строение нижней части разреза. Геофизическими методами в малоглубинном варианте (симметричное электропрофилирование, дипольное осевое профилирование) в сочетании с нивелирной и тахеометрической съемкой изучалось строение верхней части разреза и частичная деградация льдосодержащих пород, сопровождающаяся понижением в нанорельефе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдения за динамикой сезонного протаивания охватывали период с июня, когда начинается активное оттаивание грунта, и до третьей декады сентября включительно, когда заканчивается оттаивание и начинается активное выхолаживание и промерзание грунта в первой декаде октября. Частота наблюдений составляла 2—3 раза в месяц, что позволяло измерять специальным щупом даже минимальные значения величин оттаивания, составляющие 1—2 см.

На рис. 2 представлены кривые, отражающие динамику оттаивания грунта на поле 1 и тундре (контроль) на пикете (ПК-7), где наибольшее оттаивание составило 0,75 м (ПР-3). Максимальная величина оттаивания до 0,80—0,85 м отмечена на ПК-10 (ПР-3) в середине выпуклой части склона, что, очевидно, связано с наилучшими условиями по аккумуляции тепла солнечной радиации в данной точке профиля. Характерной особенностью динамики оттаивания на поле 1 является то, что в течение двух летних месяцев (июнь—июль) оно достигает 85—90 % от максимальной за лето оттайки. В эти месяцы за одну декаду грунт оттаивает до

15 см (1—1,5 см/сут), тогда как в августе—сентябре всего 1—3 см за декаду.

По результатам наблюдений за динамикой оттаивания грунтов за все 4 года эксперимента, можно отметить, что к концу теплого периода первого года освоения склонов отмечено максимальное увеличение мощности СТС до 40—50 % по сравнению с необработанной поверхностью (контроль). К концу теплого периода второго года освоения увеличение протаивания грунта составило 10—15 % по отношению к обработанному полю первого года освоения (20—25 % с контролем). К концу 3—4 года освоения практически закончилось относительное возрастание мощности СТС от агроуправляющих воздействий (5—10 %). По данным [Павлов, Шур, 1982; Шур, 1988] при освоении территории в зоне ММП стабилизация протаивания наступает уже в первые 2—3 года после нарушения поверхности.

Изучение температурного поля грунтов нарушенной поверхности и тундры (контроль) проводилось в 5 скважинах со стационарными гирляндами (см. рис. 1). На каждой гирлянде длиной 3 м смонтированы терморезисторы ММТ-4 для замера температуры грунтов на следующих глубинах от поверхности земли: 0, 5, 10, 15, 25, 30, 50, 100, 150, 200, 300 см, а также один терморезистор над поверхностью земли в 20 см для замера температуры приземного слоя воздуха. Для измерения показаний использовался мост сопротивлений Р-333.

Как известно, основным определяющим фактором для произрастания культурных растений в условиях субарктической зоны тундры является тепло, аккумулируемое в корнеобитаемом слое (0—40 см). Проанализируем, какое влияние на улучшение теплового режима грунтов или улучшение почвенного климата оказали агроуправляющие приемы обработки почвы (тепловой мелиорации) в процессе эксперимента на пологих тундровых склонах за 4 года. На рис. 3, а приведены термоизоплеты на окультуренном поле 1 и для сравнения на рис. 3, б — термоизоплеты на тундре (контроль). Последние хорошо отражают теплоизолирующее влияние напочвенного мохово-кочкарного покрова (теплового экрана) по сравнению с нарушенной поверхностью на поле 1.

Известно, что корневая система у большинства культурных растений начинает развиваться только тогда, когда почва прогреется до температуры 10 °С и выше (биологически активные температуры). Причем такая температура в корнеобитаемом слое должна поддерживаться в течение всего вегетационного периода растений. Как видно из рис. 3, б в условиях тундры (контроль) изотерма температуры более 5° С располагается на глубине всего примерно 16 см,

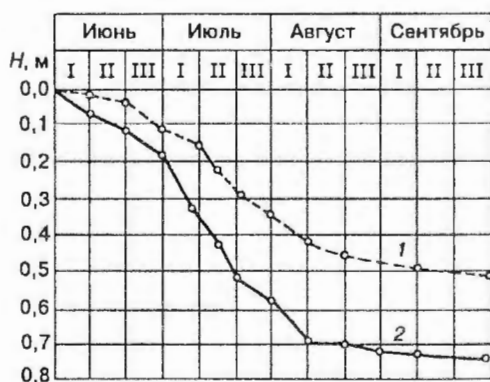


Рис. 2. Динамика оттаивания грунта на поле 1 по профилю ПР-3, ПК-7 на третий год сельскохозяйственного освоения (1) и на тундровом склоне (2) по профилю ПР-2, ПК-7 (контроль), 1991 г.

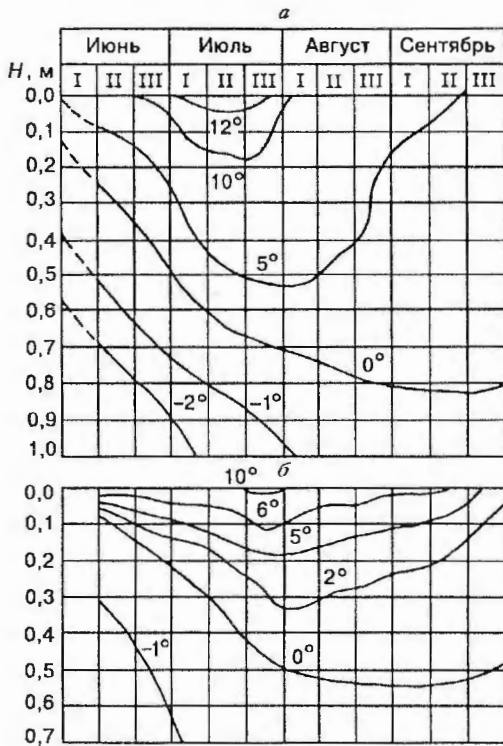


Рис. 3. Термоизоплеты грунтов на поле 1 (а) и тундре (б), (контроль) на третий год освоения, 1991 г.

что может быть приемлемо только для роста местных дикоросов: вейника, арктагrostиса, осоки, пушицы и др. Для развития культурных растений такой тепловой режим совершенно не подходит. Совсем иная картина наблюдается на окультуренном поле 1 (см. рис. 3, а). Здесь изотерма активных температур более 10° С опускалась до 15—18 см и удерживалась в течение 20 дней. А изотерма удивительных температур более 5° С — до 40 см в течение 45 дней. Это позволило существенно улучшить почвенный климат за счет увеличения биологически активного теплооборота в почве (биопродуктивный теплооборот) и вырастить в течение июня—сентября редис на площади 4 га, репу, овес (10 га) и многолетние сенокосные травы (8 га).

При изучении динамики теплового режима грунтов проводились измерения лишь двух основных параметров энергообмена почвы с атмосферой: результирующей лучистого теплообмена R (радиационный баланс) и результирующей теплообмена в поверхностном слое почвы В (тепловой поток в почву). Для измерения радиационного баланса поверхности применяли балансомеры типа М-10М в паре с актинометрическим гальванометром ГСА-1МБ. Тепловой поток в почву измеряли тепломерами из оргстекла в виде

пластин 15×15 см, изготовленных и протарированных в Институте мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН (г. Якутск). Такие тепломеры с медно-константановыми термопарами являются наилучшими в отношении точности измерений в мерзлотных исследованиях. В качестве вторичных приборов с тепломерами использовали гальванометр ГСА-1МБ и в качестве потенциометра универсальный измерительный прибор Р 4833. Обработка результатов измерений производилась в соответствии с [Руководство..., 1971].

Одна пара актинометрических приборов из балансомера и гальванометра была установлена в центре склона на опытной площадке у скв.3 по профилю ПР-3 (поле 1), другая — на склоне с ненарушенной поверхностью у скв. 1 по профилю ПР-2 на тундре (контроль) (см. рис. 1). На этих двух площадках кроме стационарных термогирлянд в скв. 1 и скв. 3 были еще установлены на глубине 20 см два тепломера. Наблюдения на основных площадках (скв. 1, скв. 3) за температурным полем грунтов, R и В проводились с периодичностью один раз в декаду (реже — раз в неделю). Как правило, измерения продолжались одни сутки в стандартные сроки (1, 7, 10, 13, 15, 18, 21 ч), но иногда и в течение 1,5—2 суток, если они существенно отличались по погодным условиям (солнечно — пасмурно). Частота замеров днем — через 2 часа, в течение ночи 2—3 замера. Пиковые значения радиации и температуры воздуха в полдень регистрировались через один час.

Влияние нарушенной поверхности склона на условия теплообмена с атмосферой в сравнении с тундровым склоном (контроль) можно проследить по среднемесячным значениям составляющих теплового баланса, приведенным в таблице и по суточному ходу этих параметров на рис. 4. Из таблицы видно, что R_н поверхности поля 1 больше на 7 % по сравнению с контролем R_т, что вызвано, очевидно, большей зачерненностью нарушенной поверхности (тепловая мелио-

Средние (за месяц) значения составляющих теплового баланса поверхности R, В, t_в на территории полигона Озерный НИЦ Чукотка за 1.07—2.08.91 г.

Параметры	Время наблюдений, ч									Средне-месячные
	1	4	7	10	13	15	18	21	24	
<i>Пологий склон (нарушенная поверхность)</i>										
R _н , Вт/м ²	-1	0,0	66	222	335	328	227	60	-9	113
B _н , Вт/м ²	-7	-3	8	16	22	25	20	9	-6	9
t _в , °С	8,0	8,4	9,8	11,9	13,0	13,4	11,3	9,5	9,1	10,5
<i>Пологий тундровый склон (контроль)</i>										
R _т , Вт/м ²	-4	5,0	82	205	278	286	197	78	-2	106
B _т , Вт/м ²	-5	-2	3	9	15	16	11	3	-2	5,4
t _в , °С	8,0	8,4	9,8	11,9	13,0	11,4	11,3	9,5	9,1	10,5

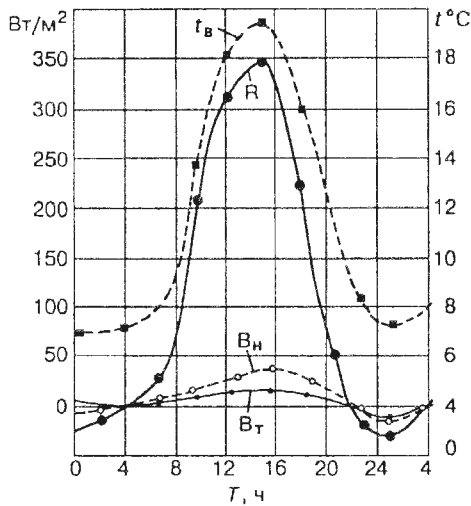


Рис. 4. Суточный ход радиационного баланса (R), температуры воздуха ($t_{в}$) и теплового потока в почву на нарушенной поверхности ($V_{н}$), (поле 1) и на тундре ($V_{т}$), (контроль), 10.07.91 г.

рация). Нарушенный слой на поле 1 в дневные часы прогревается на большую глубину, чем на тундровом склоне. Среднесуточный поток тепла в грунт на поле 1 превышал теплоток на тундровой поверхности от 1,3 до 1,9 раза в зависимости от состояния атмосферы (солнечно, пасмурно, морозящий дождь). В ночные часы все аккумулированное за день тепло на тундровой поверхности в слое 20—25 см может быть отдано в атмосферу. На поле 1 с нарушенной поверхностью полного выхолаживания этого слоя в ночные часы не происходит за счет притока глубинного тепла с нижележащего прогретого горизонта, расположенного ниже уровня тепломера.

Разница между теплотокотом в грунт днем и теплотокотом из грунта ночью составляет полезное аккумулированное тепло. Окультуренное поле 1, как показывает эксперимент, по сравнению с тундровой поверхностью (контроль) аккумулирует в деятельном слое почвогрунтов в среднем в 1,3—1,4 раза больше тепла в течение суточного хода. Повышенная аккумуляция тепла почвой на поле 1 вызвана двумя факторами: 1 — улучшением теплофизических характеристик в новом измельченном почвенном слое из минеральной и органической составляющих (увеличением коэффициентов теплопроводности, теплоемкости и температуропроводности) 2 — свободным проникновением тепла и влаги ниже уровня ликвидированного теплового экрана и значительным улучшением тепломассообмена в этом слое.

В зависимости от погодных условий среднемесячное значение R изменялось значительно от

50 до 250 Вт/м², пиковые одноразовые измерения в полдень доходили до 440 Вт/м² (вторая декада июля). Среднесуточные значения V с нарушенной поверхностью (поле 1) составляли в среднем 8—10 % от R, т.е. от 5 до 25 Вт/м², пиковые значения до 40 Вт/м². Среднемесячные значения V с ненарушенной тундровой поверхностью (контроль) составляли в среднем 3,6—4,0 % от R или от 2 до 10 Вт/м². В начале теплого времени года отмечались наибольшие значения V, когда динамика оттаивания грунта была наибольшей. Во второй половине и особенно в конце лета интенсивность V уменьшилась в 2—3 раза, что связано с общим снижением уровня солнечной радиации для этого периода года, начиная с августа.

Оценка фактического внутрипочвенного теплооборота, сформировавшегося к концу научно-производственного эксперимента по освоению пологих тундровых склонов, была сделана по дискретным (1 раз в декаду) значениям, которые были получены в ходе экспериментов. Средний за теплый период в 75 суток (с 15 июня по 30 сентября) теплооборот составил 22,7 Мдж/м². Фактический теплооборот будет даже несколько больше, так как экспериментом не учтено тепло, поступившее до 15 июня. Таким образом, коэффициент эффективности теплооборота пологих тундровых склонов в результате проведения приемов по тепловой мелиорации почв улучшен на 30—40 % по сравнению с пологими тундровыми склонами с ненарушенной поверхностью.

Геофизические исследования из-за большой удельной плотности работ на 1 м² ввиду сложной конфигурации сетки повторно-жильных льдов выполнялись не на всем поле 1, а только на выбранном ключевом участке 100×100 м, расположенном в верхней части профиля ПР-3 (см. рис. 1). Предварительно разбивалась прямоугольная сеть с различной степенью детальности от 10×1 до 1×0,5 м. Важной особенностью ключевого участка было то, что одна половина его (северная) расположена за пределами поля 1 на практически ровной площадке с нарушенной поверхностью. Южная половина ключевого участка расположена на территории поля 1 и имеет наклонную поверхность. Цель эксперимента — проследить механизм накопления влаги на ровной и наклонной поверхности и степень проседания грунта, особенно в местах ПЖЛ.

ПЖЛ высотой 11,5—12,2 м залегают на глубине 1,2—1,6 м от поверхности пологого склона. Наибольший размер сетки ПЖЛ четырех или пятиугольной формы — 13×18 м, с меньшей стороной 5 м. Ширина верхней части ПЖЛ от 0,8 м до 2 м в узлах сетки.

По результатам наблюдений за опорными стационарными точками на поле 1 общее понижение грунтовой поверхности составляет от 3

до 7 см. Микропонижения в нанорельефе поля 1 вызваны исключительно уплотнением грунта вследствие увеличения глубины СТС и вытаявания льда из мерзлого грунта. Это подтверждается тем, что в течение лета обеспечивался полный сток влаги выпадающих атмосферных осадков к подножию склона и испарение её с поверхности без образования локальных термокарстовых понижений на обработанной поверхности склона.

Напротив, на ровной половине ключевого участка, особенно в местах пересечения ПЖЛ, как и ожидалось, сформировались понижения глубиной до 12—20 см, заполненные в течение всего лета вплоть до заморозков водой. Это указывает на начало активизации термокарстового процесса.

Наблюдения за высотным положением верхней кромки ПЖЛ на поле 1 не производились, так как максимальная глубина протаивания грунта после 4-летнего эксперимента стабилизировалась на отметке 0,75—0,85 м, что не представляет опасности для вытаявания и деградации ПЖЛ, расположенных ниже этого уровня. Стабилизация среднегодовой температуры грунтов в СТС с нарушенной поверхностью будет происходить еще некоторое время, но на увеличении глубины СТС это уже не отразится [Шур и др., 1983].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема устойчивости деятельного слоя грунтов является одной из главных экологических проблем на современном этапе хозяйственного освоения территории и, в частности, развития мелиорации и земледелия в северных регионах России. Деятельный слой грунтов, если рассматривать его как элемент экосистемы, наделен свойством саморегуляции, которое дает ему возможность устойчиво функционировать в условиях окружающей природной среды. Любые нарушения этих условий в виде изменяющихся температурных градиентов (теплопотоков), в том числе и вызванных антропогенными причинами, могут легко разрушить эту систему, если величина внешних воздействий превысит определенную критическую величину. Однако в некоторых случаях система может оставаться достаточно устойчивой и не разрушаться. Коэффициент устойчивости такой системы в значительной степени будет определяться геоэкологическими, геоморфологическими и другими региональными особенностями.

Настоящим научно-производственным экспериментом рассмотрен один из таких частных случаев, где, несмотря на значительные внешние воздействия на тундровый покров, пологие склоны сохранили естественную устойчивость.

1. В качестве основного вывода следует считать, что пологие уклоны в диапазоне 2—12° являются главным фактором устойчивости. При таких уклонах действие водной эрозии и суффозии либо не проявляется, либо сведено до минимума и не может служить причиной для развития термокарста. Малый уклон поверхности способствует не только спокойному и полному стоку влаги, но и не позволяет развиваться такому разрушительному процессу, как солифлюкция (оплывание и сползание грунта) при нарушении покрова под действием тепловой мелиорации.

2. Изменение структуры верхнего почвогрунтового слоя и последующее увеличение теплооборота не менее чем на 30% к концу эксперимента, приводит к увеличению теплопроводности и теплоемкости деятельного слоя от 12 до 35% в зависимости от температуры и влажности почвы.

3. Изменение теплооборота и последующей температурной сдвижки приводит к некоторому повышению среднезимней и среднегодовой температуры деятельного слоя на 2—3°.

4. Термопросадки, вызванные уплотнением грунта в СТС от вытаявания влаги из мерзлого грунта, относятся к незначительным и не требуют специальных мер по выравниванию поверхности [Гаврильев, 1991].

Запатентованная технология тепловой мелиорации и освоения земель в зоне распространения ММП дважды демонстрировалась ученым из США, Канады, Японии, России, и она вызвала определенный научный и практический интерес. Новый способ тепловой мелиорации может иметь перспективу использования не только в данном регионе на Чукотке, но и в субарктической зоне Севера России при освоении территории.

Литература

- Гаврилова М.К. Климат и многолетнее промерзание горных пород. Новосибирск, Наука, 1978, 214 с.
- Гаврильев П.П. Мелиорация и рациональное использование земель в Якутии при наличии подземных льдов (научно-методические рекомендации). Якутск, ИМ СО АН СССР, 1991, 68 с.
- Гордеев П.П. Глубина сезонного протаивания в различных типах местности горной тундры // Региональные и тематические гео-криологические исследования. Новосибирск, Наука, 1975, с. 46—49.
- Игнатенко И.В., Папернов И.М., Павлов Б.А. и др. Геофизика и антропогенные изменения ландшафтов Чукотки. М., Наука, 1987, 271 с.
- Кривошеков В.С. Способ тепловой мелиорации земель в зоне многолетней мерзлоты // Патент на изобретение № 2056473. М., Роспатент, 1996.
- Куликов А.И. Особенности теплооборотов в мерзлотных и сезонно-мерзлотных почвах // Географ. и прир. рес., № 3, 1988, с. 149—152.

ЕСТЕСТВЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОГИХ ТУНДРОВЫХ

Павлов А.В., Оловин Б.А. Искусственное оттаивание мерзлых пород теплом солнечной радиации при разработке россыпей. Новосибирск, Наука, 1974, 182 с.

Павлов А.В., Шур Ю.Л. Стационарные теплофизические исследования верхних горизонтов криолитозоны // Термика почв и горных пород в холодных регионах. Якутск, ИМ СО АН СССР, 1982, с. 5—14.

Павлов А.В. Энергообмен в ландшафтной сфере Земли. Новосибирск, Наука, 1984, 256 с.

Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. Л., Гидрометеиздат, 1971, 220 с.

Саввинов Д.Д., Кононов К.Е. Тепловой баланс луговой растительности и климат мерзлотных пойменных почв. Новосибирск, 1981, 176 с.

Скрябин П.Н., Варламов С.П. Формирование теплового режима грунтов на склонах в районе Кулара // Термика почв и горных пород в холодных регионах. Якутск, ИМ СО АН СССР, 1982, с. 35—43.

Томирдиаро С.В. Вечная мерзлота и освоение горных стран и низменностей. Магадан, Магад. кн. изд-во, 1972, 174 с.

Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. Новосибирск, Наука, 1988, 212 с.

Шур Ю.Л., Швецов П.Ф. и др. Значение изменений почвенно-грунтового комплекса в температурном режиме многолетнемерзлых пород // Проблемы геокриологии. Мат-лы к IV Междунар. конф. по мерзлотоведению, 1983, с. 136—143.

*Поступила в редакцию
26 декабря 1997 г.*