

А. П. ТЫРТИКОВ

**Влияние
растительного
покрова**

**на
промерзание
и протаивание
грунтов**

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1969

Дорогой Лене Павловне

от автора

9.9.69 А. П. Тыртиков

А. П. ТЫРТИКОВ

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА
НА ПРОМЕРЗАНИЕ
И ПРОТАИВАНИЕ ГРУНТОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1969

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета

ТЫРТИКОВ АЛЕКСЕЙ ПАВЛОВИЧ

Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов

Тематический план 1968 г. № 171

Редактор Е. А. Дерюгина
Переплет художника В. Ю. Стойлова

Технический редактор Н. А. Рябикина

Сдано в набор 11/IX 1968 г.	Подписано к печати 12/IV 1969 г.
Л-73230	Формат 60×90/16.
Уч.-изд. л. 12,79	Бумага типогр. № 1
Зак. 165	Изд. № 358
	Тираж 900 экз.
	Цена 96 коп.

Издательство Московского университета
Москва, Ленинские горы, Административный корпус
Типография Изд-ва МГУ. Москва, Ленинские горы

2—10—5

171—68

ВВЕДЕНИЕ

Существует глубокая и многосторонняя взаимосвязь между развитием растительности и процессами промерзания и протаивания грунтов. Эта взаимосвязь особенно наглядно проявляется в области вечной мерзлоты, занимающей около половины территории Советского Союза. Уже первые исследователи этой области отмечали значительное влияние растительного покрова на протаивание почв (Миддендорф, 1863; Сумгин, 1937). Однако проблема взаимосвязи развития растительности с процессами промерзания и протаивания грунтов еще слабо изучена и включает два направления исследований.

1. Познание влияния растительности на промерзание и протаивание грунтов.

2. Изучение влияния процессов промерзания и протаивания грунтов на растительность.

Эти исследования должны вестись по единой программе. Вследствие того что вопросы первого направления изучались в основном мерзлововедами, а второго — ботаниками, единого плана исследований не было, что отразилось и в литературе. О влиянии почвенно-грунтовых условий области вечной мерзлоты на растительность имеются обобщающие работы (Городков, 1930; Дадыкин, 1952), по вопросам первого направления исследований таких работ нет.

Основная задача данной работы — обобщение наиболее важных материалов о влиянии растительности на температуру, промерзание и протаивание грунтов в области вечной мерзлоты. Необходимость подобного обобщения диктуется в первую очередь практическими запросами, связанными с интенсификацией освоения области вечной мерзлоты в настоящее время и усилением ее в будущем. Освоение местности влечет за собой нарушение или уничтожение растительности, которые отражаются на процессах промерзания и протаивания грунтов. Усиление промерзания грунтов при этом способствует развитию процессов пучения грунтов, усиление протаивания приводит к просадкам грунтов и развитию

различных термокарстовых форм рельефа. Процессы часто развиваются настолько быстро, что в короткий срок (несколько лет) совершенно изменяют облик местности, влекут за собой повреждение и разрушение различных сооружений, превращают сельскохозяйственные угодья в болота, озера. Поэтому при освоении области вечной мерзлоты необходимо исключить или ослабить возможные последствия нарушения растительного покрова с помощью соответствующих мероприятий, регулирующих промерзание и протаивание грунтов.

Разработка рациональных рекомендаций по регулированию промерзания и протаивания грунтов невозможна без познания основных закономерностей влияния растительного покрова на температурный режим, протаивание и промерзание грунтов. Влияние растительности на процессы промерзания и протаивания грунтов определяются ее воздействием на теплообмен между почвой и атмосферой (см. I главу). Во II главе рассматриваются вопросы влияния отдельных компонентов растительного покрова на температуру, протаивание и промерзание почв. Основная часть работы (главы III—V) посвящена изложению материалов влияния динамики растительного покрова на протаивание, промерзание почв, развитию вечной мерзлоты и мерзлотных форм рельефа (торфяных бугров, тундровых бугров, различных термокарстовых образований и т. п.).

Большая часть материалов собрана автором в районах Западной и Восточной Сибири, Якутии и Дальнего Востока в период с 1949 по 1961 г. в экспедициях Института мерзлотоведения им. В. А. Обручева. В заключительной главе содержатся выводы об управлении температурным режимом, промерзанием и протаиванием грунтов с помощью регулирования растительного покрова.

Автор признателен сотрудникам Московского университета М. С. Двораковскому, Е. А. Дерюгиной, Б. Н. Достовалову, Г. С. Константиновой, В. А. Кудрявцеву, О. Т. Помаленькой, А. И. Попову, П. А. Смирнову, С. Н. Тюремову за помощь и ценные советы.

Глава I

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕПЛООБМЕН И ВЛАГООБМЕН МЕЖДУ ПОЧВОЙ И АТМОСФЕРОЙ

Растительный покров образует своеобразную переходную зону между почвой и атмосферой. Наличие растительного покрова создает новые условия теплообмена и влагообмена между почвой и атмосферой, отличные от тех, которые характерны для участков, где нет растительности. Растительный покров фактически является граничной поверхностью с атмосферой. Между растительностью и атмосферой совершается теплообмен и влагообмен. Растительность отражает и поглощает радиацию, испаряет влагу, замедляет скорость ветра, повышает влажность воздуха и т. д. Это влияние растительности на теплообмен и влагообмен между почвой и атмосферой настолько значительно, что «температура и влажность почв определяются растительным покровом» (Geiger, 1961, стр. 304). Для того чтобы понять роль растительного покрова в теплообмене и влагообмене между почвой и атмосферой, необходимо проследить влияние растительности на все факторы теплового и водного баланса почвы в динамике.

В настоящее время имеется материал, освещающий влияние растительности на отдельные элементы теплового и водного баланса почвы. Обзор этого материала по отдельным вопросам содержится в работах Л. С. Берга (1938), А. Д. Дубаха (1951), К. Я. Кондратьева (1954), А. А. Молчанова (1960) и др. Наиболее полно этот материал систематизирован Р. Гейгером (Geiger, 1961), но он рассматривается под углом зрения влияния растительности на климат приземного слоя воздуха. Полное обобщение материала о влиянии растительности на теплообмен и влагообмен между почвой и атмосферой могло бы стать предметом отдельной монографической работы и не является задачей автора. В данном разделе систематизирована лишь часть материалов о влиянии растительности на отдельные факторы теплового и водного балансов почв, необходимая для понимания роли растительного покрова в динамике промерзания, протаивания грунтов.

ОТРАЖЕНИЕ И ПРОПУСКАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

Для того чтобы выяснить влияние растительности на теплообмен между почвой и атмосферой, необходимо в первую очередь рассмотреть вопрос о том, какие превращения совершаются с солнечной радиацией, падающей на растительный покров, и сравнить их с теми, которые происходят на почве, где нет растений.

Растительный покров отражает 10—25% солнечной радиации, а почва — 5—35% (Сапожникова, 1950). Под растительным по-

Таблица 1
Зависимость радиации под пологом
сосняка-брусничника от степени
сомкнутости крон (по Сахарову, 1940)

Возраст сосняка, лет	Сомкну- тость крон	Средняя ради- ации, % от радиации на открытом месте
30	0,9	11,4
70	0,7	22,0
70	0,6	30,9
110	0,5	47,5

кровом интенсивность солнечной радиации значительно уменьшается. В средних широтах 60—95% приходящей радиации перехватывается кронами деревьев и на подстилку (моховой покров, травостой) в лесу падает в среднем 5—40% суммарной радиации открытого места (Сахаров, 1940). Интенсивность радиации под пологом лесных сообществ колеблется в очень широких пределах. Интенсивность радиации под разными типами леса изменялась в пределах от 0,01 до 1,19 г·кал/см²/мин, в то время как на открытом месте она колебалась от 0,902 до 1,366 г·кал/см²/мин. В лесах эти колебания зависят в первую очередь от степени сомкнутости крон (табл. 1). При изменении сомкнутости крон на 0,1 радиация изменяется на 6—10%.

Большое значение для ослабления радиации под пологом леса имеет состав насаждений. При одинаковой сомкнутости крон более теневыносливые породы (ель) сильнее ослабляют радиацию, чем менее теневыносливые (сосна).

Таблица 2
Изменение интенсивности солнечной радиации под пологом леса (в %)
к радиации данной длины волны, поступающей на лесонасаждение
(по Egle, 1937)

Длины волн, м	0,71	0,65	0,57	0,52	0,45	0,36
Цвет	крас- ный	оран- жевый	желтый	зеле- ный	голу- бой	фиоле- товый
12 марта (почки закрыты)	61	54	51	48	46	41
15 апреля	59	39	36	33	32	30
10 мая	19	6	7	6	6	5
4 июня	14	4	5	4	3	3

Под растительным покровом не только уменьшается интенсивность солнечной радиации, но изменяется и состав ее. По мере развития листвы радиация ослабляется в голубой (коротковолновой) части спектра значительно больше, чем в красной (табл. 2).

Таким образом, в глубине леса наиболее сильно ослабляются лучи, несущие большую энергию и меньше — лучи слабой энергии.

Та часть солнечной радиации, которая проникает под полог леса, не всегда сразу достигает почвы, а нередко попадает на напочвенный покров из мхов и лишайников или на травяно-кустарничковый ярус. Эти ярусы также отражают 1/6—1/5 часть проникающей радиации (Сахаров, 1940).

Под моховым и травянистым покровом в лесу проникающая часть радиации снова сильно ослабляется. Количество солнечной радиации, проникающей через травостой, тем меньше, чем больше покрытие трав, и зависит также от состава травостоя (табл. 3).

Таблица 3
Радиация под пологом трав на вырубках (в %) от радиации,
падающей на травостой (по Сахарову, 1940)

Травостой	Степень покрытия	Средняя радиация, %
Вейниковый (<i>Calamagrostis epigeios</i>), единично		
брусника, мелкопестник, высота 40 см . .	0,5	70,0
То же	0,8	46,3
Орляковый (<i>Pteridium aquilinum</i>) высота 50 см	0,7	35,0

В области вечной мерзлоты преобладают редкостойные леса (сомкнутость крон 0,3—0,5) в основном из светлохвойных пород (лиственницы), но встречаются и сомкнутые темнохвойные (еловые, пихтовые, кедровые), что обуславливает широкую амплитуду изменений интенсивности солнечной радиации под лесной растительностью от самых низких ее значений (менее 1% от радиации открытых мест) до величин близких радиации на безлесных участках. В редкостойных лесах обычно развиты сплошной напочвенный покров из мхов и лишайников или плотный травяно-кустарничковый ярус, перехватывающие большую часть солнечной радиации, проникающей под полог этих лесов. Вследствие этого поверхности почвы в этих лесах достигает незначительная доля солнечной радиации.

Таким образом, под растительным покровом интенсивность солнечной радиации, поступающей на поверхность почвы, уменьшается в 100 и более раз по сравнению с участками, где нет растительности. Соответственно под растительным покровом уменьшается количество тепла, поступающее на нагревание почвы. Количество тепла, поступающее на нагревание почвы, под растительным

покровом значительно изменяется не только в связи с различиями состава, сомкнутости растительности, но и в процессе сезонной и многолетней динамики растительного покрова, обуславливая, таким путем, большое разнообразие почвенно-тепловых условий.

ИСПАРЕНИЕ И ТРАНСПИРАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Растения испаряют влагу, поступающую в них из почвы (транспирация), а также осадки, задерживающиеся на их поверхности. На транспирацию и испарение затрачивается большое количество солнечной энергии. При хорошо развитом травостое затраты тепла

Таблица 4
Затраты тепла на испарение (в %) от
суточного радиационного баланса

Растительность	Затраты тепла на суммарное испарение, %	Автор
Луг с густым и высоким травос- тоем из тимо- феевки	59—87	Шэбека, Бра- гилецкая (1956)
Луг (клевер)	92	Asling (1960)

на испарение¹ составляют 59—92% суточного радиационного баланса (табл. 4). Большая часть тепла затрачивается на транспирацию растений, что подтверждается тем, что после покоса затраты тепла на суммарное испарение значительно сокращаются. На участке с хорошо развитым травостоем из тимофеевки затраты тепла на испарение составляли до покоса 80%

от приходящей за день (с 7 до 17 час) радиации, а после покоса—50% (Архипова, Глебова и др., 1955). Затраты тепла на суммарное испарение сомкнутого листового леса составляют 60—75% суточного радиационного баланса, при этом транспирация древесного поглотителя 50—65% (Раунер, 1960).

Затраты тепла на транспирацию и испарение леса изменяются по мере развития и смены древостоя. После вырубki леса транспирация и испарение уменьшаются, поэтому почва заболачивается (при соответствующих грунтовых условиях). Возобновление и развитие древостоя влечет увеличение испарения и транспирации, и почва осушается.

Суммарное испарение луговых участков в два и более раз превышает испарение оголенной почвы (табл. 5).

Следовательно, на транспирацию и испарение луговой растительности затрачивается больше энергии, чем на испарение почвы.

Суммарное испарение леса больше, чем луга. Годовое испарение осиново-березового леса (6Б, 2 Ос, 1Е, 1 Ол, полнота 0,6, бонитет I), расположенного на валунном суглинке, в среднем за 4 года было на 150 мм (45%) больше, чем луга (табл. 6).

¹ Речь идет о суммарном испарении растений и почвы.

Таблица 5

Испарение по измерениям в лизиметрах в Эберсвальде в 1930 г.
(по Friedrich, 1933)*

Показатели	Периоды		
	зима	лето	год
Осадки, мм	203	517	720
Испарение (высокая трава+почва), мм	68	237	305
Испарение (газон+почва), мм	66	256	322
Испарение (голая почва), мм	36	104	140

* Цит. по Гейгеру (1960).

Таблица 6

Испарение с лесной и луговой площадок на Тосненской станции
(по Рутковскому)*

Годы	Осадки, мм	Испарение, мм	
		лес	луг
1934/1935	674	405	315
1935/1936	699	465	311
1936/1937	634	506	327
1937/1938	634	541	350
Среднее	684	480	330

* Цит. по Дубаху (1951).

Болотная растительность испаряет немного меньше, чем луговая (табл. 7).

В редкостойных лесах и редколесьях, широко распространенных на Севере, большое значение для притока тепла в почву имеет испарение и транспирация напочвенного покрова, состоящего из мхов и лишайников. Мхи и лишайники испаряют большое количество воды (табл. 8), расходуя на это значительную часть солнечной энергии. Вследствие этого температура приземных слоев воздуха понижается, а поток тепла в почву уменьшается по сравнению с участками, где нет напочвенного покрова.

Испарение с поверхности почвы и растительного покрова зависит в значительной мере от уровня грунтовых вод, влажности почвы, погодных условий и т. п. Однако влияние растительности на испарение сказывается во всех случаях, особенно при высоком уровне грунтовых вод. В этом случае годовое испарение почвы без растительности, низкого газона, молодого сосняка и луга относится как 2:4:5:8 (Friedrich, 1950)¹.

¹ Цит. по Гейгеру (1960).

В целом, суммарное испарение, а следовательно и затраты тепла на этот процесс, участка, покрытого растительностью, в 2—5 раз (иногда до 8 раз) больше, чем площадки без растительного покрова (Гейгер, 1960).

Участок, покрытый растительностью, испаряет нередко больше воды, чем равновеликая водная поверхность. Если принять испарение водной поверхности за 100, то среднее испарение

Таблица 7
Испарение (среднее за 10 лет) на Новгородской болотной станции (по Дубаху, 1951)

Место наблюдений	Испарение за период июль—сентябрь, мм
Болото сфагновое . . .	286
Болото переходное (сфагнум, пушица, сабельник, осоки)	325
Луг искусственный . . .	341

различных сфагновых мхов на болоте в среднем за три года будет — 116 (Тюренов, 1928). Увеличение испарения участков, покрытых растительностью, по сравнению с площадками без растений объясняется не только тем, что испаряющая поверхность растений в десятки раз больше, чем почва, которую она занимает, а также тем, что растения

для транспирации поглощают воду из всех горизонтов почвы и многих слоев подпочвы, в то время как испарение самой почвы лимитируется часто увлажнением и физическими свойствами лишь самых верхних ее горизонтов.

Таким образом, в результате транспирации и испарения растительности уменьшается количество тепла, поступающее на нагревание почвы и приземных слоев воздуха. Однако, если при испаре-

Таблица 8
Испарение (в г/сут) в среднем за 3 летних месяца с площади в 1000 см² (по Мышковской, 1913)

Показатели	Место наблюдений				
	лес	открытое место			
Напочвенный покров	<i>Polytrichum</i>	<i>Sphagnum, Polytrichum</i>	<i>Sphagnum</i>	<i>Polytrichum</i>	лишайники
Испарение	155	325	272	314	180

нии и транспирации растительности понижается температура воздуха в пределах растительного покрова (иногда на большой высоте — в кронах деревьев) и в припочвенном слое, то при испарении с поверхности почвы понижается температура последней. Следовательно, испарение и транспирация растительности воздействуют на поток (отдачу) тепла в почву не непосредственно, а через изменение теплосодержания приземного слоя воздуха. Транс-

пирация и испарение растений увеличивают влажность в приземном слое воздуха, вследствие чего уменьшаются испарение (отдача тепла) с поверхности почвы и излучение тепла почвой. Транспирация и испарение растительности, уменьшая влажность почвы, уменьшают ее теплопроводность, теплоемкость, замедляя таким путем поток тепла в почву летом и отток его из почвы зимой.

Влияние транспирации и испарения растительного покрова на поток тепла в почву (из почвы) является сложным и многосторонним. Это влияние изменяется не только в зависимости от различий растительных сообществ, но и в процессе динамики их. В настоящее время в естественных условиях еще не удастся точно определить величину транспирации растительности без нарушения растительного покрова. Очевидно, что количественная оценка влияния транспирации и испарения растительности на теплообмен между почвой и атмосферой еще более затруднительна.

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СКОРОСТЬ ВЕТРА И ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН ТЕПЛА МЕЖДУ ПОЧВОЙ И АТМОСФЕРОЙ

В растительном покрове скорость ветра уменьшается. Особенно сильное влияние на скорость ветра оказывает лес. Чем дальше от опушки в глубь леса, тем меньше скорость ветра (табл. 9).

Таблица 9
Убыль скорости ветра в сосновых насаждениях с дубом и подлеском из орешника (по Нестерову, 1933)

Расстояние от опушки, м	34	55	77	98	121	185	228
% начальной скорости . . .	56	45	23	19	7	5	2—3

В еловых лесах скорость ветра уменьшается еще значительно, чем в сосновых. В лесу скорость ветра уменьшается также по направлению от верхушек крон к почве (табл. 10).

Ниже одного метра в лесу происходит резкое снижение скорости ветра и на поверхности почвы господствует почти полный штиль.

Лесные полосы уменьшают скорость ветра на 50% или более на подветренной стороне, в зоне равной 15 высотам полос, и на 25% в следующей зоне такой же ширины (Hall et al., 1958). В зарослях кустарников скорость ветра быстро уменьшается по направлению от верхушек к поверхности почвы (табл. 11).

Таким образом, внутри растительного покрова, а также на прилегающих к нему участках скорость ветра уменьшается в двух направлениях: сверху вниз и от окраин в глубь растительности. Однако лес может вызвать местный ветер. Часто наблюдаются ноч-

ные ветры от леса на безлесную местность, образующиеся за счет стекания холодного воздуха с поверхности крон на окружающую лес территорию. Скорость этих ветров на равнине не превышает 1 м/сек, а на горных склонах, верхняя часть которых покрыта лесом, она достигает 3 м/сек (Гейгер, 1960). На последних эти ветры нередко изменяют направление местных ветров (Hall et al., 1958).

Таблица 10

Вертикальное распределение скорости ветра в 15-метровом сосновом насаждении в течение 188 час (по Гейгеру, 1960)

Высота, м	Местонахождение анемометра	Средняя скорость ветра, м/сек
16,85	над верхушками деревьев	1,61
13,70	верхняя граница верхушек	0,90
10,55	между вершинами крон	0,69
7,40	верхняя часть лесного полога	0,67
4,25	под лесным пологом	0,69
1,10	» » »	0,60
0,00	у почвы	почти 0

Таблица 11

Скорость ветра в вересковых зарослях (по Сконеру)*

Высота, см	Местонахождение анемометра	Скорость ветра, м/сек	
		12 мая 1920 г.	11 января 1921 г.
180	над вереском	5,1	9,3
50	между верхними ветвями	—	3,7
40	между ветвями	1,7	—
30	» »	—	1,4
2	между кустами	0,008	—

* Цит. по Гейгеру (1960).

Днем также наблюдаются ветры, дующие из леса на безлесную местность, образующиеся вследствие того, что под кронами воздух более холодный, чем на прилегающих безлесных участках (Гейгер, 1960).

В редкостойных лесах и редколесьях области вечной мерзлоты скорость ветра уменьшается слабее, чем в сомкнутых. В редком лесу скорость ветра зимой составляет 40—60%, а летом 30—40% скорости ветра на открытом месте (Костин, Покровская, 1961).

Растительный покров, уменьшая скорость ветра, ослабляет турбулентный обмен тепла между почвой и атмосферой. При этом ослабление турбулентного теплообмена пропорционально уменьше-

нию скорости ветра. Даже плотная луговая растительность в 2—5 раз сокращает турбулентный поток тепла в воздух по сравнению с участками, где растительность редкая. По наблюдениям Е. П. Архиповой, М. А. Глебовой и других (1955), турбулентный поток тепла в воздух над травостоем из тимофеевки составлял всего 10% радиационного баланса, а на суходоле, где трава редкая и невысокая, он достигал в сухую погоду до 50%, при хорошем увлажнении уменьшался до 25%.

Растительность, уменьшая скорость ветра, уменьшает испарение с поверхности почвы и отдачу тепла почвой на этот процесс. Ослабление ветра является одной из причин повышенной влажности воздуха внутри растительного покрова, вследствие чего также уменьшается испарение влаги с поверхности почвы и излучение тепла почвой. Уменьшение скорости ветра ведет также к задержанию снега, равномерному распределению снега по элементам рельефа и отложению в более рыхлом состоянии, чем на участках, лишенных растительности, в результате этого зимой почва меньше отдает тепла.

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ДИНАМИКУ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Известно, что снег замедляет отток тепла из почвы. Это влияние снега настолько значительно, что промерзание и температурный режим почв (зимой) зависят в основном от динамики снежного покрова (Константинова, 1962). Поэтому изменения в распределении, отложении и таянии снежного покрова под влиянием растительности отражаются на потоках тепла из почвы или в почву. Влияние растительности на динамику снежного покрова проявляется в следующем.

1. Растительный покров, особенно древесный и кустарниковый, уменьшая скорость ветра, способствует равномерному распределению снега по элементам рельефа. Даже в редкостойных лесах района Игарки, состоящих в основном из пород, сбрасывающих листья (хвою), снег отлагается значительно более равномерно, чем на безлесных участках. Средняя мощность снежного покрова на безлесных буграх в конце зимы 1958/59 г. колебалась в пределах от 58 до 231 см, а на залесенных буграх и всхолмлениях — от 118 до 157 см (табл. 12). Если на залесенных участках происходит постепенное увеличение высоты снежного покрова от начала к концу зимы, то на безлесных вершинах и южных склонах бугров (зимой в Игарке преобладают ветры южных румбов) накопление снега часто сменяется уменьшением высоты его в результате сноса ветром (см. табл. 12). Очевидно, что на залесенных участках поток тепла из почвы совершается более равномерно на различных элементах рельефа, чем на безлесных.

2. Под растительным покровом снег отлагается в более рыхлом состоянии, чем на участках, где нет растительного покрова. В райо-

не Игарки в 1957—1959 гг. плотность верхних (до 60 см) слоев снега была равна на безлесных участках в начале зимы 0,21—0,22; в конце — 0,27—0,30, а на залесенных соответственно 0,16—0,18 и 0,20—0,22 (Константинова, 1959). Так как теплопроводность снега прямо пропорциональна квадрату его плотности (Абельс, 1893), то под растительным покровом поток тепла из почвы будет меньше,

Таблица 12
Динамика снежного покрова в районе Игарки (по Константиновой, 1959)

Растительность	Рельеф	Высота снежного покрова, см в 1958/59 г.					
		20 октября	15 ноября	11 декабря	15 января	18 февраля	17 марта
Кустарничковая	вершины бугров	21	43	41	47	38	58
	южные склоны бугров	21	49	50	57	50	68
	северные склоны бугров	24	129	135	158	171	195
	основания южных склонов бугров	25	45	68	83	79	103
	основания северных склонов бугров	27	94	101	139	184	231
Редкостойные леса	вершины бугров и всхолмлений	26	70	83	99	103	134
	южные склоны бугров и всхолмлений	21	60	66	84	86	118
	северные склоны бугров и всхолмлений	23	53	79	88	102	123
	основания южных склонов бугров и всхолмлений	26	74	85	106	123	157
	основания северных склонов бугров и всхолмлений	31	78	98	121	129	157

чем на участках, где нет растительности, даже при одинаковой мощности снежного покрова.

3. Вследствие уменьшения скорости ветра на участках, защищенных растительным покровом, снега накапливается больше, чем там, где нет растительности. Особенно большое влияние на перераспределение снега оказывает древесная растительность. На защищенных лесными полосами полях снега нередко накапливается в два раза (а в пределах лесной полосы почти в три раза) больше, чем в открытой степи. Очевидно, что теплоотдача почвы зимой на этих участках очень различна, ибо почва промерзает в открытой степи в два раза глубже, чем в поле, защищенном лесными полосами и более чем в четыре раза глубже, чем под лесной полосой (табл. 13).

Влияние лесной растительности на распределение снега особенно сказывается в лесотундре, где отдельные лесные массивы пере-

межаются с безлесными участками. На лесных участках снега накапливается больше, а плотность его и отдача тепла почвой в зимнее время меньше, чем на безлесной территории, поэтому и температура вечномерзлых грунтов выше на первых, чем на вторых (Константинова, 1962).

4. Часть снега задерживается на кронах деревьев и кустарников и испаряется с них. Различные (по составу, возрасту) насаждения задерживают разное количество снега на кронах, поэтому толщина снегового покрова и запасы воды в снеге в них различны. В еловых лесах мощность снега и запасы снеговой воды в 2—2,5 раза меньше, чем в березовых и дубовых (Нестеров, 1909). Теплоотдача почвы зимой в еловых лесах значительно больше, чем в березовых и дубовых. В березовых и дубовых насаждениях больше снеговой воды просочится в почву, чем в еловых, поэтому теплопроводность и теплоемкость почвы на первых участках больше, чем на вторых.

5. Растительность, уменьшая скорость ветра и затеняя почву, способствует замедлению стаивания снега весной. Даже в лиственном лесу за период снеготаяния на поверхность снега поступает значительно меньше лучистой энергии, чем в поле. В 1938 г. в 65-летнем осиновом лесу под Ленинградом (высота 19 м, полнота 0,7) за период снеготаяния с 26 марта по 20 апреля на поверхность снега поступило лучистой энергии всего 40% от количества, поступившего на поверхность поля (Дубах, 1951). На основании обобщения большого материала по снеготаянию, А. Д. Дубах (1951) пришел к выводу, что для района Ленинград—Москва таяние снега запаздывает по сравнению с полем в лиственном лесу на 8 суток, в сосновом — на 15 суток, в еловом — на 25 суток.

Медленное таяние снега в лесах, способствует накоплению влаги в почве, увеличивает ее теплопроводность и теплоемкость, т. е. усиливает теплообмен. В то же время снег препятствует прогреванию почвы — замедляет теплообмен в более продолжительный период снеготаяния по сравнению с безлесными участками.

По данным Н. О. Марина (1891), в редких сосновых лесах таяние снега происходит быстрее, чем в поле. Так как в области вечной мерзлоты преобладают редкостойные леса, то в них, вероятно, таяние снега происходит также быстро или немного медленнее, чем на безлесных участках. Вследствие этого, а также наличия мерзлой почвы сток снеговых вод должен происходить быстро и роль снега в увлажнении почв не так велика, как вне этой области.

Таблица 13
Влияние лесных полос на распределение снега и промерзание почвы (по Костину и Покровской, 1961)

Место наблюдения	Мощность снега, см	Глубина промерзания почвы, см
Степь	24	63
Поле среди лесных полос	49	32
Лесная полоса	66	14

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ИСПАРЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

Растительный покров, уменьшая приток радиации к поверхности почвы, уменьшая скорость ветра и повышая влажность припочвенного слоя воздуха, значительно сокращает испарение с поверхности почвы, в лесу оно в 2—3 раза меньше, чем на безлесных участках (Китредж, 1951). В разреженных лесах испарение с поверхностей составляет 60—70% испарения на открытой местности (Дубах, 1951).

Большое влияние на испарение с поверхности почвы оказывает лесная подстилка. Еще в 1883 г. Эзер показал, что с 12 июля по 12 августа голая почва испарила 5 дюймов воды, а покрытая двухдюймовым слоем буковой листвы — всего 0,5 дюйма, т. е. в 10 раз меньше (Bedford, 1955). В лиственном лесу в Баварии за 7 месяцев (с апреля по ноябрь) почва, насыщенная водой, испарила вне леса 408 мм, в лесу на участке без листьев — 159 мм, на площадке с листьями — 62 мм, т. е. под листьями в лесу испарение меньше в 2,5 раза, чем там, где нет листьев (Воейков, 1948).

Таким образом, под растительным покровом в 2—10 раз уменьшаются затраты тепла на испарение с поверхности почвы по сравнению с участками, лишенными растительности.

ЗАДЕРЖКА ОСАДКОВ РАСТИТЕЛЬНЫМ ПОКРОВОМ

Растительность задерживает часть твердых и жидких осадков на своей поверхности, с которой они испаряются, и таким образом уменьшает количество их, достигающее почвы. В редком лесу осадков задерживается тем

меньше, чем дальше расстояние от ствола (табл. 14).

Количество осадков, задержанных кронами деревьев, изменяется в зависимости от состава древостоя: меньше всего задерживают осадков березовые насаждения, больше всего — еловые, более $\frac{1}{3}$ годовой суммы осадков (табл. 15).

Если при выпадении дождя и снега лесная почва получает их меньше, чем поле, то при образовании измороси, инея, гололеда наоборот. В лесных массивах, расположенных высоко в горах, где часто наблюдаются туманы, количество осадков за счет их осаживания увеличивается иногда более чем на 20%, а на опушках в 1,5 раза по сравнению с безлесными участками (Geiger, 1961).

Таблица 14

Зависимость количества осадков в редком лесу от расстояния от ствола (по Гейгеру, 1960)

Расстояние от ствола, м	0—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	более 1,5
Кол-во осадков, % к выпавшим над лесом	55	60	63	66

Таблица 15

Задержка осадков кронами различных насаждений около Москвы (по Эйтингену, 1932)*

Место наблюдений	Годы наблюдения	Возраст, лет	Процент осадков, задержанных кронами
Березняк	1907—1920	80—100	9
Сосняк	1909—1929	32—60	12
»	1907—1929	80—110	14
Ельник	1909—1929	40—60	36

* За период с 1907 по 1929 г. в среднем выпало 539 мм осадков.

Попав под полог деревьев, осадки не сразу достигают почвы, а сначала падают на подлесок, травы, кустарнички, напочвенный покров из мхов и лишайников, подстилку. Травы под пологом леса задерживают нередко не меньше дождя, чем древесные ярусы, состоящие из осины, березы, сосны (табл. 16).

Напочвенный покров из лишайников задерживает столько же жидких осадков, сколько и сомкнутый взрослый еловый древостой. Водоудерживающая способность зеленых мхов в два с лишним раза больше, чем сомкнутого елового леса. Особенно много дождя задерживает лесная подстилка. Еловая подстилка мощностью 5 см задерживает в четыре раза больше дождя, чем сомкнутый, взрослый еловый древостой.

В области вечной мерзлоты решающую роль в задержке жидких осадков играет не древостой, а напочвенный покров из мхов и лишайников, так как здесь преобладают редкостойные леса и редколесья со сплошным напочвенным покровом. Большая задержка жидких осадков на поверхности растительного покрова в области вечной мерзлоты сильно уменьшает привнос тепла в почву в теплое время года водой, а также уменьшает теплоемкость и теплопроводность почвы, замедляя приток тепла другими путями.

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СТОК

Растительный покров создает препятствия стоку корнями, стеблями, стволами, упавшими деревьями и т. п., усиливая шероховатость поверхности. Подземные органы растений разрыхляют почву, способствуя просачиванию воды в нее. Растительность формирует влагоемкий, живой или мертвый покров на поверхности почвы, впитывающий и задерживающий большое количество воды (см. табл. 16).

Вследствие наличия лесной подстилки, большей рыхлости почвы, развития напочвенного покрова из мхов и лишайников и т. п. леса сильнее задерживают поверхностный сток, чем луга. В результате наблюдений стока в течение четырех лет на Тосненской

Таблица 16

Водоудерживающая способность различных растительных покровов (по Лохову, 1938)

Покровы	Предельное количество дождевых осадков, которое может задержать покров, мм
Подлесок под елью	0,13
Малина	0,13
Кислица	0,2
Копытень	0,3
Медуница	0,4
Сныть	0,4
Осока волосистая	0,5
Черника	0,5
Пролеска	0,6
Злаки на лесосеке	0,7
Рожь	0,8
Брусника	1,1
Луг заливной	1,4
Лишайник (олений мох)	4,5
Зеленые мхи	9,8
Еловая подстилка, верхний слой 2,5 см	4,3
Еловая подстилка всей мощностью 5,0 см	19,4
Ельник, сомкнутость крон 0—1,0	4,6
Осинник, сомкнутость крон 0,8—1,0	0,5
Сосняк, сомкнутость крон 0,9	1,3

станции около Ленинграда установлено, что сток с лесной площадки был в четыре раза меньше, чем с луговой.

Сток на пастбищных лугах иногда более чем в девяносто раз превышает сток в лесу. В молодом дубовом лесу около Воронежа коэффициент стока снеговой воды был 0,1 (на супесчаной почве), а на пастбищном лугу 0,91 (Дубах, 1951). Летний сток в лесу незначителен. В дубовом лесу Воронежской области осенью 1926 г. и летом 1927 г. совершенно не было поверхностного стока, хотя за сутки выпадало до 44 мм осадков (Ткаченко, 1932). В еловом лесу Сиверского лесничества на плотной суглинистой почве за 3 года летний сток дождевых вод составлял всего 0,01% осадков, а осенью повышался до 0,1% (Дубах, 1951). Весенний сток снеговой воды в лесу не только значительно ослаблен по сравнению с полем, лугом, но и наступает позднее. На Истринском пункте (под Москвой) в еловом лесу сток начался почти на месяц позднее, чем в поле, и максимум его наступил также на месяц позднее. На Окском пункте в 1938 г. сток с полностью облесенного луга начался на 25 суток позднее, чем с полевого (Дубах, 1951).

Ослабление поверхностного стока растительным покровом имеет следствием увеличение просачивания воды в почву, усиление внутрипочвенного стока и приноса тепла в почву водой. В связи с увеличением влажности почвы при этом возрастает теплопровод-

ность и теплоемкость ее и также усиливается приток тепла в летнее время.

В области вечной мерзлоты эффект ослабления поверхностного стока талых вод растительным покровом в значительной мере уменьшается наличием мерзлой почвы. На Валдайской станции на участках луга с мерзлой почвой сток был в 13—88 раз больше, чем на талых почвах (Молчанов, 1960). Там, где почва промерзает, большое значение для притока тепла (оттаивания почвы) в нее имеет задержка стока летних дождевых вод. В этих районах наблюдается резкое увеличение интенсивности протаивания почвы после выпадения обильных дождей.

* *
*

Изложенный материал свидетельствует о сложном и многостороннем влиянии растительности на водный баланс почвы. Растительный покров уменьшает влажность почвы, вследствие транспирации и задержки осадков на своей поверхности. Однако, замедляя снеготаяние и сокращая поверхностный сток снеговых и дождевых вод, он способствует накоплению влаги в почве. Это накопление влаги обычно значительно перекрывается увеличением суммарного испарения растительным покровом и, таким путем, влажность почвы под растительностью в целом уменьшается по сравнению с участками, лишенными растений.

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЛАЖНОСТЬ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА

В результате уменьшения скорости ветра, задержки пара, отдаваемого почвой и растениями, транспирации растительности влажность воздуха внутри растительного покрова значительно повышается по сравнению с открытой местностью. В пределах растительного покрова распределение влажности неравномерно: она повышается по мере приближения к почве. У поверхности почвы, покрытой высокой травой, даже в полуденные часы влажность воздуха близка к 100% (табл. 17).

Таблица 17

Колебания влажности и температуры воздуха в высокой траве в июньские полдни (по Waterhouse)*

Высота, см	Температура, °C	Относительная влажность, %
50—25	24—25	46—47
25—10	25—26	47—55
10—0	17—18	90—100

* Цит. по Гейгеру (Geiger, 1961).

Лес более заметно повышает влажность воздуха, чем болотная растительность. В еловом лесу около Ленинграда относительная влажность воздуха на высоте 0,5—2,0 м в течение двух летних месяцев была на 8,2% больше, чем на сфагновом болоте (Дубах, 1951).

Повышение влажности воздуха в пределах растительного покрова уменьшает излучение тепла почвой. Высокая влажность воздуха у поверхности почвы под растительным покровом замедляет испарение почвы и уменьшает отдачу тепла на этот процесс по сравнению с участками, лишенными растительности.

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕПЛОЕМКОСТЬ ПОЧВЫ

Главное влияние растительности на физические свойства почвы обусловлено накоплением органических остатков на поверхности и в глубине ее. Среди органических накоплений почвы, особое значение для теплопотока в почву (из почвы) имеют поверхностные образования — подстилка, торфяной, торфянистый горизонты и слои торфа. Органические горизонты обладают физическими свойствами, отличными от физических свойств минеральных слоев.

Органические горизонты в сухом состоянии содержат большое количество воздуха. Например, в подстилке сухое вещество занимает всего 2—7% объема, а остальная часть занята воздухом (в сухом состоянии) или воздухом и водой (Зайцев, 1949). Вследствие этого они характеризуются ничтожной теплопроводностью и сильно замедляют приток тепла в почву летом. Теплопроводность торфянистых горизонтов, торфа, подстилки в сухом состоянии близка к теплопроводности рыхлого снега. Тепло, поступающее на их поверхность, почти полностью отдается в воздух и лишь незначительная его часть проникает в минеральные слои. По мере увлажнения теплопроводность и теплоемкость органических горизонтов почвы увеличивается. Теплопроводность их также сильно возрастает при замерзании. Отмеченное изменение теплопроводности и теплоемкости подстилки, торфянистого горизонта, торфа играет важную роль в тепловом режиме грунтов. В сухой период лета они быстро высыхают сверху и становятся слаботеплопроводными и малотеплоемкими. Поступление тепла в почву поэтому очень незначительно. В осенний период эти органические слои увлажняются и, замерзая во влажном состоянии, слабо препятствуют отдаче тепла грунтами зимой.

Растительность, разрыхляя почву и увеличивая количество крупных каналов, образующихся после сгнивания подземных органов, способствует увеличению содержания воздуха в ней и уменьшению теплоемкости и теплопроводности.

Растительный покров определяет динамику влаги в почве путем транспирации, воздействуя на сток, просачивание, задержку атмо-

сферных осадков и т. д., следовательно воздействует на теплопроводность и теплоемкость почв, ибо последние зависят в значительной степени от влажности (табл. 18).

Таблица 18
Объемная теплоемкость составных частей почвы в зависимости от влажности (по Сапожниковой, 1952)

Составные части почвы	Влажность в % от максимальной влагоемкости			
	0	20	50	100
Песок	0,35	0,40	0,48	0,63
Глина	0,26	0,36	0,54	0,90
Торф	0,20	0,32	0,56	0,94

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ИЗЛУЧЕНИЕ ТЕПЛА ПОЧВОЙ

При наличии растительного покрова излучение тепла происходит в основном с поверхности растительности. В сомкнутом лесу излучение совершается почти исключительно с поверхности кроны деревьев. Вследствие этого под растительным покровом потеря тепла в результате излучения почвы значительно уменьшается. Это уменьшение тем значительнее, чем больше сомкнутость растительности. В лесу при наличии сомкнутого древесного полога (сомкнутость кроны 1,0) эффективное излучение ничтожно по сравнению с излучением открытой местности. По мере разреживания растительности эффективное излучение увеличивается (табл. 19).

Таблица 19
Зависимость эффективного излучения от размера вырубki (по Гейгеру, 1960)

Показатели	Диаметр вырубki, м						
	0	12	22	24	38	47	87
Средний угол закрытости горизонта	90	72	59	58	48	40	26
Эффективное излучение в % к излучению открытой местности	0	11	31	33	52	66	87

Потеря тепла через излучение почвы уменьшается не только вследствие защиты лесного полога, но и в результате более высокой влажности воздуха в лесу.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕПЛООБМЕН МЕЖДУ ПОЧВОЙ И АТМОСФЕРОЙ

Правильно понять влияние растительности на теплообмен и влагообмен между почвой и атмосферой, а следовательно и роль растительности в промерзании и протаивании грунтов, можно лишь тогда, когда будет произведен количественный учет воздействия растительного покрова на все факторы теплового и водного баланса почвы в динамике.

В настоящее время невозможно произвести точный количественный учет составляющих теплового и водного баланса почвы на отдельных участках, как вследствие методической неразработанности, так и чрезвычайной трудности подобных исследований. В частности, точные методы исследования в природе подчас трудно использовать без нарушения естественных условий, а нарушение их делает эти исследования не точными (Geiger, 1961).

Ниже приводятся некоторые материалы о количественной оценке влияния растительности на отдельные составляющие теплового баланса. Под растительным покровом уменьшается радиационный баланс. Это уменьшение тем больше, чем ближе к поверхности почвы. В июле 1952 г. радиационный баланс в еловом лесу у поверхности почвы составлял всего 44 кал/см² в сутки (в среднем за 4 суток), а над лесом он был равен 603 кал/см² в сутки, т. е. в последнем случае был больше в 14 раз (табл. 20).

Таблица 20

Радиационный баланс в лесу и над лесом (по Baumgartner)*

Место наблюдения	Высота, м	Длительность отрицательного (ночь) и положительного (день) баланса (часы)		Суточный баланс	
		день	ночь	кал/см ² · сут	%
Над лесом	10,0	15,0	9,0	603	100
В вершинах	5,0	13,6	10,4	551	91
В кронах	4,1	15,0	9,0	260	43
Над почвой	0,2	21,0	3,0	44	7

* Цит. по Гейгеру (Geiger, 1961).

В июле 1959 г. под пологом лиственного леса под Москвой суточный радиационный баланс был равен 20—40 кал/см² в сутки, а над лесом он был в 10—20 раз больше — 410 кал/см² в сутки (Раунер, Руднев, 1962).

Под растительным покровом значительно сокращается продолжительность отрицательного баланса. Если в излучающих вершинах время отрицательного баланса превышало 10 час в сутки в пе-

риод наиболее продолжительной радиации (июль), то у поверхности почвы под защитой лесного полога — всего 3 часа (см. табл. 20).

Энергия солнца, падающая на растительный покров, претерпевает сложные превращения. Средний лавровый лист отражает 15% падающей энергии, пропускает 5%, использует на производство сахара и крахмала 1%, превращает в тепло, затрачивающееся на транспирацию — 38%, излучает в виде длинноволновой радиации в окружающее пространство — 25%, превращает в тепло, отводящееся окружающим воздухом (турбулентный обмен) — 16% (Bedford, 1955). В общем балансе энергии растения в летнее время затраты тепла на транспирацию составляют главную расходную статью. На участках, покрытых сомкнутой растительностью, затраты тепла на суммарное испарение (испарение почвы + транспирация растительности) значительно превышают 50% суточного радиационного баланса.

На освоенном болоте, покрытом высоким сомкнутым травостоем (тимофеевка), в Белоруссии затраты тепла на суммарное испарение составляли 59—87% суточного радиационного баланса, а на целинном болоте с редким травостоем и моховым покровом — 53—80% (Шэбека, 1956). В лиственном лесу под Москвой на суммарное испарение в период вегетации расходуется ²/₃—³/₄ суточного радиационного баланса (Раунер, 1960).

На участках, покрытых сомкнутой растительностью, транспирация растительности поглощает основную часть тепла, затрачиваемую на суммарное испарение. Суммарное испарение леса при большой сомкнутости крон определяется в основном транспирацией древостоя, составляющей свыше 80% общего расхода влаги лесным участком (Раунер, 1960).

На луговых участках транспирация является основной статьей расходной части баланса в период вегетации (Репман, 1951):

Поглотители энергии	%
Рост растений	1
Нагревание почвы	2
Нагревание воздуха	4
Отражение	20
Длинноволновое излучение	34
Транспирация	39
Всего	100

Затрачивая большое количество энергии на транспирацию, растительный покров уменьшает количество тепла, поступающее на нагревание почвы в течение теплого времени года, в 2—4 раза и более по сравнению с оголенными участками. При наличии расти-

тельного покрова на нагревание почвы поступает 1,5—3% от суточного радиационного баланса (табл. 21).

Растительный покров оказывает решающее влияние на поступление (отдачу) тепла в почву, а также на нагревание (охлаждение) приземного слоя воздуха, а следовательно и на весь теплообмен между почвой и атмосферой, особенно в период вегетации.

Таблица 21

Затраты тепла на нагревание почвы (в %) от суточного радиационного баланса на различных участках

Растительность	Время года	Затраты тепла	Автор
Поле (стерня)	конец лета	8	Жуков, Самарина, 1962
Лес	лето	2,5	Раунер, 1960
Луг	»	2	Реппман, 1951
Луг на лесной поляне	»	3	Ананьева, 1962
То же	конец лета	≈ 1,5	Жуков, Самарина, 1962

Влияние растительности сводится в первую очередь к уменьшению теплообмена между почвой и атмосферой, по сравнению с участками, лишенными растительности. Уменьшение теплообмена зависит также от динамики растительного покрова, его состава и строения. В лесу теплообмен между воздухом и почвой менее ин-

тенсивен, чем на безлесных участках. В почве под лесом теплооборот на 30% меньше, чем под поляной (табл. 22).

Таблица 22

Теплооборот в двухметровом слое почвы за год, в калориях (по Тольскому, 1919)

Место наблюдения	Приход	Расход
Поляна	1555	1499
Лес	1105	1071

Влияние растительности на теплообмен и влагообмен между почвой и атмосферой характеризуется многосторонностью и различной направленностью. Это влияние изменяется в процессе

сезонной и многолетней динамики растительного покрова, а также зависит от состава и строения растительности и от условий, в которых оно проявляется.

Растительный покров, оказывая ведущее влияние на теплообмен и влагообмен между почвой и атмосферой в период вегетации и существенно воздействуя на теплообмен в зимний период, играет важную роль в протаивании, промерзании почв, в динамике вечной мерзлоты и различных форм рельефа, возникающих в ходе этих процессов.

Для того чтобы правильно оценить роль растительности в промерзании и протаивании грунтов, необходимо исследовать измене-

ния воздействия растительного покрова на эти процессы в ходе развития растительности во времени. Правильная оценка значения динамики растительности для промерзания и протаивания грунтов является исходным моментом для выработки рациональных мероприятий управления этими процессами с помощью регулирования растительного покрова.

Для более полного выяснения роли растительности в промерзании и протаивании грунтов целесообразно вначале рассмотреть влияние отдельных компонентов растительного и органического почвенного покровов на эти процессы.

Глава II

ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ТЕМПЕРАТУРУ, ПРОМЕРЗАНИЕ И ПРОТАИВАНИЕ ПОЧВ

Растительный покров области вечной мерзлоты состоит из лесных, кустарниковых, травянистых и других сообществ. Большая часть растительных сообществ многоярусна, при этом нередко каждый ярус состоит из нескольких видов, относящихся к различным жизненным формам. В редкостойных лесах, широко распространенных в этой области, выделяются один или два древесных яруса. Первый ярус состоит из хвойных пород с опадающей (лиственница) и неоппадающей (сосна, ель) хвоей. Во втором ярусе обычно преобладает береза. Часто развит один или два яруса подлеска. Под пологом подлеска, как правило, развит ярус из трав и кустарничков и самый нижний ярус — напочвенный покров из мхов и лишайников.

Часто даже в пределах одного яруса доминируют виды, резко различающиеся по своей жизнедеятельности и по воздействию на теплообмен между почвой и атмосферой (промерзание и протаивание почв), например сфагновые мхи и лишайники в напочвенном покрове, ель и лиственница в древесном ярусе и т. д.

Роль растительного покрова в промерзании и протаивании почв определяется спецификой составляющих его растительных сообществ, видовым составом, особенностями жизнедеятельности, распределения и развития отдельных видов в каждом ярусе и т. п. Кроме того, растительность в процессе жизнедеятельности формирует органические слои (подстилка, торфянистые горизонты, торф и т. п.), значительно воздействующие на теплообмен между почвой и атмосферой (глава I).

Пока еще нет материала, достаточно полно освещающего роль даже наиболее широко распространенных растительных сообществ в промерзании и протаивании почв, не говоря уже об отдельных ярусах и видах этих сообществ. Поэтому в данной главе рассмат-

ривается преимущественно совместное влияние отдельных типов растительности на промерзание и протаивание почв, в меньшей степени — влияние отдельных видов растений. В особом параграфе излагается материал о влиянии органических горизонтов почвы на протаивание и промерзание. В главе также обобщен материал о влиянии растительности на температуру почвы в области вечной мерзлоты, представляющий самостоятельный интерес, так как в литературе он в обобщенном виде не содержится.

ВЛИЯНИЕ ЛЕСА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВЫ

Влияние леса на температуру почвы в пределах СССР вне области вечной мерзлоты рассмотрено в работе А. А. Молчанова (1961). Температурному режиму почвы в лесах уделено много внимания в сводке Р. Гейгера (Geiger, 1961), написанной в основном по материалам зарубежных исследователей. Что касается изучения температурного режима почвы в лесах в пределах области вечной мерзлоты, то этому вопросу посвящено мало работ. Особенно мало материалов по параллельным наблюдениям в лесу и на безлесных участках, по которым можно было бы составить представление о роли леса в температурном режиме почв. В немногочисленных работах, в которых есть материалы наблюдений в лесу и на безлесных участках, выявляется преимущественно комплексное воздействие леса на температуру почвы, в то время как роль древесных ярусов в температурном режиме почти не выяснена.

Таблица 23

Температура почвы (средняя) в районе ст. Бомнак в 1909 г.
(по Бальц и Прохорову, 1913)

Место наблюдений	Июль (1—31)		Август (1—26)	
Разрыхленный суглинок без растительности	17,7*	14,5**	17,3*	14,2**
Лиственный лес с подлеском из березы	2,4*	0,9**	3,6*	2,5**

* На глубине 20 см.

** На глубине 40 см.

В летний период температура почвы в лесу значительно ниже, чем на участках, где нет растительного покрова. В 1909 г. на ст. Бомнак среднемесячная температура почвы в июле на глубине 20—40 см в густом лиственном лесу с подлеском из березы (*Betula middendorffii*), куда не проникали солнечные лучи, была на 13,6°—15,3° ниже, чем на открытой площадке, на которой суглинистая почва была разрыхлена (табл. 23).

В Центральной Якутии в 1938 г. среднедекадные температуры почвы на глубине 0—80 см во второй половине лета в лиственничнике-брусничнике были на 2,1—10,6° ниже, чем в поле (табл. 24).

Таблица 24

Среднедекадные температуры суглинистой почвы парового поля и леса в слое 0—80 см на Якутской государственной селекционной станции в 1938 г. (по Зольникову, 1954)

Место наблюдения	Июль	Август			Сентябрь		
	3	1	2	3	1	2	3
Поле (пар)	18,2	14,8	13,2	11,6	10,9	8,4	4,1
Лиственничник-брусничник	7,6	7,8	6,2	6,0	6,0	4,2	2,0

Влияние сомкнутого леса на температурный режим почвы более значительно, чем луга. Средняя температура полуболотной почвы за четыре летних месяца на глубине 20 см в лиственничном лесу на ст. Бомнак была на 2,1° ниже, чем на лугу, различия среднемесячных температур этих участков достигали 5° (табл. 25).

Таблица 25

Средние температуры полуболотной почвы в лиственничном лесу и на лугу на ст. Бомнак в 1911 г. (по Колоскову, 1925)

Глубина, м	Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Июнь — сентябрь	
	лес	луг	лес	луг	лес	луг	лес	луг	лес	луг
0,0	10,0	19,7	14,0	18,1	16,4	17,7	9,4	8,4	12,4	16,0
0,2	0,2	4,5	2,2	7,2	4,2	7,7	3,7	4,8	2,6	4,7
0,5	-0,6	-0,2	0,3	1,1	1,3	3,5	2,0	3,4	0,8	2,0

В 1959 г. в долине р. Хантайки (Игарский район) средняя температура торфянисто-суглинистой почвы на глубине 20 см за два летних месяца в редкостойном лиственничном лесу с моховым покровом из зеленых мхов мощностью 6 см была на 6,1° ниже, чем под высоким (2,5 м) сомкнутым травостоем, различия среднемесячных температур этих участков достигали почти 8° (табл. 26).

Если летом температура почвы в лесу ниже, чем на безлесных участках, то зимой она нередко значительно выше (табл. 27).

Из таблицы 27 видно также, что после вырубki леса среднегодовая амплитуда температуры почвы увеличилась на 7,6°. Правда, это увеличение среднегодовой амплитуды температуры почвы, а также понижение температуры ее в зимнее время после сводки леса отчасти обусловлено уменьшением снежного покрова. Снеж-

ный покров сглаживает различия в температурном режиме почв лесных и безлесных участков. При этом, чем больше снега, тем меньше разница температур почвы. В 1913—1915 гг. на станции Тыган-Уркан при малом снежном покрове (10 см) максимальные различия среднемесячных температур почвы на глубине 20 см между лесным и безлесным участками достигали почти 8°, а при

Таблица 26

Температура торфянисто-суглинистой почвы в редкостойном лиственничном лесу и на лугу в долине р. Хантайки в 1959 г.

Место наблюдений	Средняя температура почвы на глубине 20 см за периоды			
	июль (1—31)	август (1—31)	сентябрь (1—13)	с 27 июня по 13 сентября
Лес	2,6	5,8	3,1	3,5
Луг	10,5	9,4	7,2	9,6

Таблица 27

Температура почвы на глубине 40 см (по Колоскову, 1950 г.)

Место наблюдений	Август (ст. Бомнак)	Январь (ст. Тыган-Уркан)	Средняя годовая амплитуда	Средняя высота снега, см
Лесная вырубка	6,4	—12,0	18,4	8
Лес	2,5	— 8,3	10,8	12

большем (20 см) всего 3,5°. Общий суммарный эффект воздействия лесной растительности на среднегодовую температуру почвы зависит от конкретных условий, в которых он проявляется и, в частности, от снежного покрова. При высоком покрове среднегодовая температура почвы после сводки леса повышается, при низком — понижается (Колосков, 1930).

В области вечной мерзлоты наибольшую площадь занимают редкостойные (сомкнутость крон 0,3—0,5) леса, обычно с хорошо развитым сплошным напочвенным покровом из мхов и лишайников, под которым залегает торфянистый горизонт. Напочвенный покров и торфянистый горизонт оказывают значительно большее влияние на температурный режим почвы, чем редкий древостой. Об этом, в частности, свидетельствуют наблюдения температур почвы в редкостойном (сомкнутость крон 0,3) смешанном лесу в районе Игарки на площадке, с которой был удален напочвенный покров из лишайников (высота 5 см) и торфянистый горизонт почвы мощностью 7 см, и в поле (табл. 28).

Таблица 28

Температура тонкопесчаной почвы на глубине 15 см в редкостойном лесу на обнаженной площадке и в поле в районе Игарки в 1950 г. в полдень

Место наблюдений	30 июня	22 июля	2 августа	15 августа	26 августа	5 сентября
Лес	9,2	11,6	11,2	11,7	8,3	5,8
Поле	9,2	11,8	10,7	11,2	7,6	6,5

Если средняя (из 6 наблюдений) температура почвы в лесу на обнаженной площадке и в поле почти одинакова, то в естественных условиях в лесу она была на 7,5° ниже.

Следовательно, влияние редкого древостоя на температурный режим почвы в летние месяцы незначительно по сравнению с совместным воздействием напочвенного покрова и торфянистого слоя.

ВЛИЯНИЕ ЛЕСА НА ПРОТАИВАНИЕ ПОЧВЫ

Материалы о протаивании почвы в лесах области вечной мерзлоты содержатся во многих работах. Впервые они были получены при проведении ботанических или ботанико-географических исследований (Бальц, Прохоров, 1913; Тюлина, 1936 и др.). В последнее время появились работы, посвященные изучению протаивания почв (Поздняков, 1952; Тиртиков, 1953, Климовский, 1962 и др.). На основании этих материалов можно выявить влияние лесов на протаивание почв.

В редкостойных лесах, преобладающих в Сибири, под крупными деревьями почва протаивает медленнее, чем на прогалинах. В районе Игарки под крупными кедром торфянисто-супесчаная почва протаяла в 1958 г. на 21—39 см меньше, чем на прогалинах (табл. 29).

Древесный полог редкостойных лесов слабо замедляет протаивание почвы. Под пологом елового леса (сомкнутость крон 0,6) в

Таблица 29

Протаивание почвы под кедром и на прогалинах между ними в редкостойном лесу в районе Игарки (1958 г.)

Место наблюдений	Глубина протаивания, см					
	14 июля	31 июля	11 августа	20 августа	30 августа	10 сентября
Под кедром	20	23	25	32	37	38
На прогалине	23	42	55	65	74	77
Под кедром	25	40	50	52	59	60
На прогалине	30	61	66	73	80	81

Таблица 30
Глубина протаивания почвы (в см) на залесенных и безлесных обнаженных участках

Район наблюдений	Год наблюдений	Состав почвы	Под лесом				На безлесных участках			
			средняя	минимальная	максимальная	кол-во пунктов	средняя	минимальная	максимальная	кол-во пунктов
Игарский Якутия*	1950	суглинки	81	37	125	33	143	—	—	1
	многотлетние данные	супеси, суглинки	100	30	200	—	210	160	280	—
Якутия (бассейн р. Ирэлээх)	1956	супеси, суглинки	72	59	80	10	142	128	155	2
	1957	суглинки	80	35	126	67	145	—	—	1
Игарский	1958	»	68	33	100	83	129	—	—	1
	1959	»	64	33	114	80	137	—	—	1
Долина Хангайки	1959	»	72	46	106	52	137	—	—	1
	1961	»	65	38	91	32	130	—	—	1
Низовья Надьма, Ярудея										

* По данным А. И. Ефимова (1954).

районе Игарки суглинистая почва в 1950 г. протаяла на 112 см, а на безлесном участке — на 142 см. Под лесной растительностью в области вечной мерзлоты глубина протаивания почв в среднем в два раза меньше, чем на участках, где нет растительного покрова и торфянистых слоев (табл. 30).

Торфянистый горизонт и напочвенный покров в лесах значительно замедляют протаивание почвы, особенно в начале лета. В 1958 г. к 27 июня суглинистая почва в редкостойном лесу в районе Игарки на участках с торфянистым горизонтом протаяла на 20 см, а на площадках, с которых он удален — на 60 см. Чем больше толщина и влажность торфянистого горизонта, тем меньше глубина протаивания почвы (табл. 31).

Таблица 31

Динамика влажности почвы в редкостойных лесах в районе Игарки в 1958 г.

Динамика влажности почвы		в 1958 г.						
Типы леса	Сомкнутость крон	Глубина взятия образцов (см) и состав почвы	Влажность в % от сырой навески				Глубина протаивания, см	
			16 июля	1 августа	18 августа	6 сентября		
Редкостойный зеленомоховой березняк	0,3	торф	0—10	57,9	67,9	73,3	57,4	65
			10—20	61,0	55,0	61,0	57,9	
		суглинок	20—30	44,7	22,6	37,7	40,9	
			30—40	—	23,3	23,8	24,8	
			40—50	—	—	24,3	25,5	
50—65	—		—	—	23,5			
Редкостойный багульниковый березняк	0,3	торф	0—11	44,3	48,6	58,6	45,2	8
			11—25	18,7	19,7	24,8	23,1	
		суглинок	25—45	18,8	24,3	25,0	23,3	
			45—60	—	25,3	26,2	21,3	
			60—75	—	25,4	25,1	24,3	
			75—85	—	—	26,2	23,2	
				торф	0—5	41,6	43,3	
суглинок	5—20	20,6	23,1		25,6	25,3		
	20—35	22,3	22,3	26,4	23,4			
	35—55	19,5	23,1	29,1	—			
	55—75	—	24,6	28,0	23,9			
	75—95	—	—	—	25,1			

Вследствие развития сплошного напочвенного покрова и торфянистого горизонта в лесах Сибири различия литологического состава слабо отражаются на ходе протаивания почвы. В районе Игарки супеси и суглинки, перекрытые сверху торфянистым слоем, протаивают одинаково (табл. 32).

Таблица 32

Глубина протаивания почвы в редкостойных лесах в районе Игарки (1958 г.)

Типы леса	Глубина взятия образцов (см) и состав почвы	Высота напочвенного покрова, см	Глубина протаивания, см	Кол-во пунктов наблюдений
Редкостойный зеленомошный березняк	0—11 см — торф, ниже суглинок	6	75	10
Редкостойный лишайниковый елово-березовый лес	0—14 см — торф, ниже супесь	6	78	15

ВЛИЯНИЕ ЛЕСА НА ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВЫ

О значении лесов для промерзания почвы известно в общих чертах уже давно. А. П. Тольский (1919), Н. А. Качинский (1927), М. И. Сахаров (1938), И. С. Васильев (1952) и другие отмечали, что под светлехвойными и лиственными лесами почва промерзает менее глубоко, чем на безлесных участках. Это объясняется прежде всего тем, что в таких лесах почва лучше защищена от охлаждения менее плотным и более высоким снежным покровом.

В различных лиственных и светлехвойных насаждениях не наблюдается существенных отличий в глубинах промерзания почвы. Темнохвойные породы, задерживая значительное количество снега на кронах, создают условия для более глубокого промерзания почвы по сравнению с светлехвойными и лиственными насаждениями. Под елями с густыми и низкими кронами мощность снега нередко в 2—4 раза меньше, а глубина промерзания — в 2,5—11 раз больше, чем под пологом лиственных лесов (табл. 33).

Влияние хвойных вечнозеленых на промерзание распространяется в общем в пределах проекции крон, по мере удаления от

Таблица 33

Глубина промерзания почвы, март 1927 г. (по Сахарову, 1945)

Место наблюдений	Типы леса	Полнота	Состав почвы	Мощность, см		Глубина промерзания, см
				снега	подстилки	
Казанское опытное лесничество	осинник липняковый	0,8	супесь свежая	71	2	5
	осинник липняковый под старыми елями	0,8	то же	35	3	55
Брянское опытное лесничество	березняк липняковый	0,8	песок свежий	48	—	18
	березняк липняковый под елями	0,8	то же	12—22	—	48



Рис. 1. Крона кедра в редкостойном лесу в районе Игарки

стволов глубина промерзания уменьшается. Это влияние тем заметнее, чем больше кроны в приземной части деревьев. В редкостойных лесах приземные части кроны не отмирают даже у очень старых деревьев (рис. 1) и таким путем сохраняются условия неравномерного промерзания почв даже в старых насаждениях.

Под древостоем лесных полос, островов леса в лесотундре, лесостепи и на опушках леса в тайге почва промерзает значительно слабее, чем на прилегающих безлесных участках. В Кулундинской степи под лесными полосами мощность снега в 4—10 раз больше, а глубина промерзания на 110—165 см меньше, чем на безлесных участках (табл. 34).

Таблица 34

Промерзание и оттаивание суглинистых почв в Кулунде
(по Мосиенко, 1957)

Место наблюдений	Годы	Средняя мощность снега, см	Средняя плотность снега	Наибольшая глубина про- мерзания, см	Продолжи- тельность от- таивания, дни
Целина	1953/54	18	0,30	147	35
Лесополоса . . .	1953/54	74	0,28	34	20
Целина	1954/55	10	0,28	219	40
Лесополоса . . .	1954/55	67	0,28	58	32
Целина	1955/56	6	0,30	237	46
Лесополоса . . .	1955/56	62	0,27	72	33

ВЛИЯНИЕ КУСТАРНИКОВ И КУСТАРНИЧКОВ НА ПРОМЕРЗАНИЕ, ПРОТАИВАНИЕ И ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВЫ

Материалов о влиянии кустарников и кустарничков на протаивание, промерзание и температурный режим почв недостаточно. В общих чертах их воздействие сходно с влиянием древостоя и также определяется степенью сомкнутости полога и плотностью кустарничков и кустарников.

Под густыми зарослями ольхи (сомкнутость полога 0,9) температура почвы значительно ниже, чем в поле (табл. 35).

Препятствуя прогреванию почвы, кустарники замедляют протаивание ее. Если в 1950 г. почва в поле к 19 июня протаяла на 80 см, то под кустарниками (заросли ольхи на о. Самоедском око-

Таблица 35

Температура суглинистой почвы на глубине 20 см в окрестностях
Игарки (1950 г.)

Место наблюдений	29 июня	14 июля	24 июля	5 августа	19 августа	30 августа	3 сентября
Заросли ольхи . . .	1,3	4,0	5,3	5,8	7,3	4,8	3,2
Поле	7,5	10,2	11,2	11,0	11,1	7,3	4,5

Таблица 36
Глубина протаивания суглинистой почвы в районе Игарки (1958 г.)

Место наблюдений	Сомкнутость полога	Глубина протаивания, см
Ольховый кустарник	0,9	88
Ивняк	0,8—0,9	65—93
»	0,8	73
Обнаженная площадка	нет	130

Таблица 37
Влияние зарослей багульника на протаивание почв торфяных бугров в районе Игарки

Место наблюдений	Год наблюдений	Покрытие багульника, %	Глубина протаивания, см
Повышения	1950	30	47
		100	38
Понижения	1950	нет	43
		100	31
Южные склоны	1958	нет	64
		100	44

ло г. Игарки) 24 июля глубина протаивания достигла всего 57 см, а в конце июня была равна 30 см. Глубина протаивания почв под сомкнутыми кустарниками значительно меньше, чем на обнаженных участках (табл. 36).

Под сомкнутыми кустарниками почва протаивает значительно медленнее, чем на луговых участках (при прочих сходных условиях).

Таблица 38
Глубина промерзания суглинистых почв 1 марта 1951 г. около г. Коломны (по Павловскому, 1952)

Место наблюдений	Глубина промерзания, см	Мощность снега, см
Кустарник	31	46
Выгон щучковый	80	28
Поле (зять)	102	28

Кустарнички, образующие сплошные заросли, очень замедляют протаивание почв. Глубина протаивания торфяных почв на обнаженных участках нередко в 1,5 раза (на 20 см) больше, чем под плотными сплошными зарослями багульника (*Ledum palustre*) (табл. 37). Кустарники способствуют равномерному накоплению снега и однообразию промерзания почв. Очевидно также, что под кустарниками снега накапливается боль-

ше и он более рыхлый, чем на полях и лугах, поэтому и почва промерзает на полях и лугах глубже, чем под кустарниками (табл. 38).

ВЛИЯНИЕ ТРАВЯНОГО ПОКРОВА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВЫ

Травостой сглаживает колебания температуры на поверхности почвы по сравнению с участками, где нет растительности. В долине р. Хантайки на крупнотравном лугу (преобладали *Calamagrostis Langsdorffii*, *Cirsium heterophyllum*, высота травостоя в конце июля 150—170 см, покрытие 95—100%) максимальные температуры на поверхности почвы значительно ниже, минимальные — выше, а амплитуды температур меньше, чем на площадке в редкостойном (сомкнутость крон 0,3) лесу, с которой удален растительный покров и торфянистый горизонт почвы (табл. 39).

Таблица 39
Температуры и амплитуды температур на поверхности почвы за период с 1 июля по 13 сентября в долине р. Хантайки

Температуры и амплитуды температур	Площадки	
	под травостоем	оголенная в редкостойном лесу
Средняя минимальная	5,9	3,5
Средняя максимальная	16,9	23,8
Максимальная амплитуда	31,7	39,4
Максимальная суточная амплитуда	22,7	29,1
Минимальная суточная амплитуда	4,9	5,5
Средняя суточная амплитуда	11,0	20,3

Влияние трав на температуру почвы изменяется в течение вегетационного периода и усиливается по мере развития травостоя (табл. 40).

На лугах, которые не выкашиваются, нередко формируется торфянистый горизонт, температура почвы под такими луговыми участками на протяжении большей части вегетации значительно ниже, чем там, где нет растительности (табл. 41).

Таблица 40
Средняя температура суглинистой почвы на глубине 20 см в долине р. Хантайки в 1959 г.

Место наблюдений	Температура почвы в °С за периоды			
	июль (1—31)	август (1—31)	сентябрь (1—13)	с 27 июня по 13 сентября
Луг крупнотравный с высоким сомкнутым травостоем	10,5	9,4	7,2	9,6
Обнаженная почва в редкостойном лесу	9,8	10,6	6,6	9,5

Торфянистый горизонт особенно сильно замедляет прогревание почвы в начале вегетационного периода, а в конце вегетации замедляет охлаждение (табл. 41).

Таблица 41

Средняя температура суглинистой почвы на глубине 20 см в районе Игарки (1959 г.)

Место наблюдений	Мощность торфянистого горизонта, см	Температура почвы в °С за периоды			
		июнь (18—29)	июль (1—31)	август (1—31)	сентябрь (1—22)
Вейниковый луг	8	1,5	7,9	9,5	7,2
Оголенная поверхность . .	0	7,5	11,0	11,2	6,6

ВЛИЯНИЕ ТРАВЯНОГО ПОКРОВА НА ПРОТАИВАНИЕ И ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВЫ

Глубина и скорость протаивания луговых почв в значительной степени зависят также от мощности дернового горизонта. На участках, где развит этот горизонт, глубина протаивания значительно меньше, чем там, где он отсутствует (табл. 42).

Таблица 42

Динамика протаивания суглинистой почвы в пойме Енисея на луговых участках в районе Игарки (1958 г.)

Место наблюдения	Мощность дерново-переслойного горизонта, см	Глубина протаивания, см					
		9 июля	30 июля	11 августа	20 августа	30 августа	10 сентября
Мятликовый луг .	нет	54	99	114	117	126	126
Вейниковый луг .	10	40	60	73	80	91	92

Очевидно, дерновый горизонт содержит больше льда, чем минеральный грунт.

На луговых участках, где накапливается торфянистый горизонт, почва протаивает значительно медленнее, чем на лугах, развитых на почвах без этого горизонта. На первых участках глубина протаивания в 1,5—2,0 раза меньше (на 40—60 см), чем на вторых (табл. 43).

Сведения о роли травяного покрова в промерзании почв немногочисленны и относятся в основном к районам, расположенным вне области вечной мерзлоты. Влияние травяного покрова на промерзание почвы сводится в первую очередь к тому, что на участках с травостоем накапливается больше снега и в более рыхлом состоянии, чем на площадках, где нет трав, вследствие этого промер-

Таблица 43

Протаивание почвы на луговых участках в окрестностях Игарки (1958 г.)

Типы луга	Мощность торфянистого горизонта, см	Глубина протаивания, см			
		27 июня	9 июля	28—30 июля	28—30 августа
Мятликовый	нет	—	54	99	126
Вейниковый	14	19	—	54	81
Осоковый	18	18	—	48	64

зание почвы на первых участках менее глубоко, чем на вторых (Качинский, 1927).

При одной и той же мощности снега глубина промерзания почвы под травостоем меньше, чем на участке без растительности. Под Москвой суглинистая почва на щучковом лугу промерзла к 1 марта 1952 г. на 80 см, а в поле — на 102 см, высота снега на участках — 28 см (Павловский, 1952).

В некоторых районах на полях, где оставлена высокая стерня или кулисы подсолнечника, глубина промерзания почвы нередко на 1—1,5 м меньше, чем на целине (табл. 44).

Таблица 44

Промерзание и оттаивание суглинистых почв в Кулунде (по Мосиенко, 1957)

Район наблюдений	Годы	Средняя мощность снега, см	Средняя плотность снега, см	Наибольшая глубина промерзания, см	Продолжительность оттаивания, дни
Целина	1953/54	18	0,30	147	35
Стерня	1953/54	45	0,27	56	23
Целина	1954/55	10	0,28	219	40
Кулисы из подсолнечника . . .	1954/55	38	0,27	65	33

Различия в промерзании почв под стерней и стеблями подсолнечника, с одной стороны, и целиной, с другой — объясняются разным снегонакоплением. Мощность снега на первых участках была в 2,5—3,8 раза больше, чем на вторых.

ВЛИЯНИЕ МОХОВОГО И ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВЫ

В области вечной мерзлоты первые систематические наблюдения температурного режима почв под моховым покровом и на обнаженных участках были произведены участниками экспедиций Перселенческого управления (Бальц, Прохоров, 1913; Колосков,

1915 и др.). Уже эти исследования показали, что под моховым покровом температура почвы значительно ниже, а ее колебания меньше, чем на участках без мха. Различия среднемесячных температур почвы на глубине 20 см площадок с моховым покровом и тех, с которых мох удален, превышают 11—15° (табл. 45).

Таблица 45

Температура почвы на ст. Бомнак в 1910 г. (по Балыц и Прохорову, 1913)

Место наблюдений	Июль		Август (с 1 по 26)	
	на глубине 10 см	на глубине 20 см	на глубине 10 см	на глубине 20 см
Растительности нет, суглинок разрыхлен	—	17,7	—	17,3
Под кукушкиным льном мощностью 20 см	—	—	—	—
во мхе	5,7	4,6	6,6	6,2
Моховое сфагновое болото	4,2	2,1	5,1	5,9

Зеленые мхи (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium proliferum*) сильнее препятствуют прогреванию почвы, чем лишайники (*Cladonia alpestris*). Под их покровом температура ниже, чем под лишайниками (табл. 46).

Таблица 46

Температура под напочвенным покровом в районе Игарки в 1950 г. в редкостойном лесу в полдень

Дата	16 июня	22 июля	2 августа	15 августа	26 августа	5 сентября
Температура воздуха . . .	13,4	21,5	13,5	14,5	9,5	12,5
Температура под <i>Pleurozium schreberi</i> высотой 5 см . .	6,6	12,1	9,1	9,6	6,5	4,0
Температура под <i>Cladonia alpestris</i> высотой 5 см . .	—	20,8	13,7	13,5	7,5	5,7

По усилению воздействия на температурный режим почвы различные типы сплошного напочвенного покрова можно расположить в такой последовательности: кустистые лишайники (*Cladonia alpestris*, *Cl. silvatica*, *Cl. rangiferina*), зеленые мхи (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium proliferum*), кукушкин лен (*Polytrichum commune*), сфагновые мхи (*Sphagnum fuscum*, *Sph. angustifolium*, *Sph. lenense*, *Sph. balticum*, *Sph. acutifolium* и др.).

ВЛИЯНИЕ МОХОВОГО И ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА НА ПРОТАИВАНИЕ ПОЧВЫ

Роль мохового покрова в протаивании почв была отмечена еще в XVIII в. В. Зуевым (Городков, 1932а). А. Ф. Миддендорф (1863) также писал о влиянии плохой теплопроводности мхов на

протаивание почв. Позднее почти все исследователи, изучавшие протаивание почв, указывали на большое значение мохового покрова для протаивания грунтов. М. И. Сумгин обобщил материалы многочисленных наблюдений по этому вопросу и установил, что под моховым покровом глубина протаивания почвы в 2—3 раза меньше, чем на участках, с которых мхи удалены (Сумгин, 1937). Среди различных групп мхов и лишайников, формирующих напочвенный покров, наибольшее влияние на протаивание почвы оказывают сфагновые мхи, под которыми даже торфяная почва протаивает медленнее, чем под зелеными (табл. 47).

Таблица 47

Протаивание торфяной почвы в понижениях микрорельефа, на участках под различным напочвенным покровом в районе Игарки (1950 г.)

Напочвенный покров	Глубина протаивания, см		
	13 июля	3 августа	2 сентября
<i>Sphagnum fuscum</i>	18	22	26
<i>Pleurozium schreberi</i>	25	31	35

Под зелеными мхами (*Pleurozium schreberi*) почва протаивает глубже, чем под кукушкиным льном; под лишайниками — еще глубже (табл. 47, 48).

Таблица 48

Глубина протаивания почвы на торфяных буграх, на участках под различным напочвенным покровом в районе Игарки (1958 г.)

Напочвенный покров	Глубина протаивания, см
<i>Cladonia alpestris</i>	48
<i>Pleurozium schreberi</i>	46
<i>Polytrichum commune</i>	42
<i>Sphagnum fuscum</i>	38

По степени усиления влияния на ход протаивания почвы различные группы напочвенного покрова располагаются в тот же ранее выделенный последовательный ряд.

ВЛИЯНИЕ МОХОВОГО И ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА НА ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВЫ

Напочвенный покров из мхов и лишайников предохраняет почву от охлаждения и промерзания (Сумгин, 1937). Влияние мохового покрова на промерзание почв различается в зависимости от ус-

ловий, в которых происходит промерзание. Мхи, замерзая в сухом состоянии, образуют рыхлый, пористый слой, имеющий малую плотность и большое количество пор, заполненных воздухом. Этот рыхлый слаботеплопроводный слой хорошо защищает нижележащие слои почвы от промерзания. Если промежутки между стеблями мхов заполнены водой (на болотах, в понижениях), то после замерзания таких замшелых участков образуется сплошная мерзлая корка, теплопроводность которой близка к теплопроводности льда, мало препятствующая промерзанию нижележащих слоев грунта (Печкуров, Каплан, 1937). Вследствие того что содержание воды в различных типах напочвенного покрова так же, как и насыщение его влагой перед промерзанием, сильно различаются как в зависимости от климатических условий, рельефа, так и состояния и видового состава покрова, воздействие его на промерзание почвы характеризуется большим разнообразием.

ВЛИЯНИЕ ТОРФЯНИСТОГО СЛОЯ НА ПРОТАИВАНИЕ ПОЧВЫ

Для области вечной мерзлоты характерно широкое распространение почв с торфянистым или торфяным горизонтами, а также торфяников. Эти органические образования по физическим свойствам, и в первую очередь по тепловым, сильно отличаются от минеральных грунтов, влияние их на протаивание почв весьма значительно.

Уже давно установлено, что наименьшая глубина протаивания почвы наблюдается на торфяниках (Танфильев, 1911; Городков, 1930; Сумгин, 1937 и др.). Глубины протаивания торфяных почв в различных районах мало различаются (табл. 49).

Торфяные почвы протаивают значительно медленнее, чем суглинистые (табл. 50).

Таблица 49

Глубина протаивания почвы на торфяниках

Район наблюдений	Год	Место наблюдений	Глубина протаивания, см
Игарский	1957	торфяные бугры	30—65
»	1958	»	33—60
»	1959	»	33—58
Низовья Хантайки	1959	»	36—55
Низовья Надьма	1961	плоские торфяники	32—49
Низовья Яны	1952	»	25—40
Низовья Селемджи	1955	торфяные болота и бугры	40—70
Огоронская и Верхнезейская котловины	1939*	торфяные болота	40—60
Долина р. Деп	1939*	»	50—70

* По С. Л. Кушеву (1939).

Таблица 50

Протаивание торфа и суглинка на обнаженных участках в районе Игарки (1957 г.)

Дата	10 июля	20 июля	1 августа	10 августа	20 августа	31 августа	25 сентября
Глубина протаивания торфа, см	39	51	54	58	59	60	62
Глубина протаивания суглинка, см	80	97	104	117	130	138	145

В районе Игарки обнаженный торф на горизонтальных участках торфяных бугров протаивает на 55—65 см, в то время как суглинка на участках без растительного покрова — на 130—165 см.

В редкостойных лесах области вечной мерзлоты ход протаивания в значительной мере зависит от степени развития торфянистого горизонта — чем он больше, тем медленнее протаивает почва (табл. 51).

Таблица 51

Протаивание торфянисто-суглинистой почвы в редкостойных лесах в зависимости от мощности торфянистого горизонта в районе Игарки (1950 г.)

Мощность торфянистого горизонта, см	Глубина протаивания, см			
	19 июня	13 июля	2 августа	2 сентября
5—10	20	44	61	80
10—15	13	35	49	64
20	12	22	40	48

Торфянистые горизонты почвы формируются в значительной степени за счет мохового покрова. Моховой покров трудно отделяется от торфянистых горизонтов без повреждения последних. Поэтому в большинстве работ, где рассматривается значение мохового покрова для промерзания, протаивания и температурного режима почвы, учитывается суммарный эффект мхов и торфянистых слоев, залегающих под ними (Бальц, Прохоров, 1913; Мышковская, 1913; Сумгин, 1937).

Удаление торфянистого горизонта вместе с напочвенным покровом приводит к резкому ускорению протаивания почвы, особенно в начале вегетационного периода. В районе Игарки через 20 дней после удаления торфянистого горизонта в редкостойных лесах почва протаяла в среднем на ту же глубину (72 см), что и в естественных условиях за 3 месяца (с 1 июня по 3 сентября, табл. 52).

После удаления торфянистых слоев почвы вместе с напочвенным покровом глубина протаивания суглинков увеличивается в

Таблица 52

Протаивание почвы в редкостойных лесах в районе Игарки (1950 г.)

Место наблюдений	Глубина протаивания, см (средняя из 20 пунктов)				
	27 июня	7 июля	17 июля	27 июля	31 сентября
Естественные условия	15	27	37	46	72
Торфянистый горизонт удален	51	72	83	90	126

1.5—3 раза по сравнению с ненарушенными участками.

В области вечной мерзлоты торфянистые (торфяные) горизонты оказывают не меньшее влияние на протаивание почв, чем живой напочвенный покров. Поэтому при исследованиях протаивания почв необходимо обращать внимание не только на степень развития (высоту, плотность, покрытие и т. п.) мохового и лишайникового покрова, но и на величину, состав, влажность и другие свойства слоев мертвых остатков, покрывающих минеральные горизонты или включенных в последние. На участках, где мощность торфяных горизонтов превышает 20 см, глубина протаивания почв мало отличается от глубины протаивания торфа (см. табл. 50, 51). В этом случае механический состав нижележащих горизонтов существенно не влияет на ход протаивания.

ВЛИЯНИЕ ТОРФЯНИСТОГО СЛОЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВЫ

Торфяные почвы характеризуются не только самой незначительной глубиной протаивания, но и наиболее низкой температурой (Кузенева, 1911; Танфильев, 1911; Сумгин 1937 и др.). В районе Игарки в 1950 г. температура почвы на глубине 15 см на торфяном бугре за период с 15 июня по 5 сентября была 3°, а температура суглинистой почвы в поле 10,3°.

Таблица 53

Амплитуды температур суглинистых почв за сутки (с 9 час 3 августа 1959 г.) в долине р. Хантайки в редкостойном лесу

Площадки	Экспозиция	Состав почвы	Мощность, см		Амплитуды, °С	
			мха	торфяни- стого гори- зонта	на глубине 5 см	на глу- бине 20 см
Обнаженная	южная	суглинок	нет	нет	9,9	2,3
»	горизонтальная	»	нет	нет	5,0	1,5
»	северная	»	нет	нет	6,4	1,5
Естественная	южная	»	6	12	3,8*	0,2
»	горизонтальная	»	6	12	1,9*	0,3
»	северная	»	6	12	2,1*	0,2

* Термометры в торфянистом горизонте.

При наличии сплошного мохового покрова и торфянистого горизонта температурные колебания быстро затухают с глубиной. На глубине 20 см суточные колебания температуры в редкостойных лесах почти не заметны и наблюдается плавное повышение или понижение ее в период вегетации в зависимости от повышения или понижения температуры воздуха (табл. 53).

В то время как колебания температуры воздуха за отмеченные сутки достигли 20°, на глубине 20 см под торфянистым горизонтом и моховым покровом они были едва заметны.

ВЛИЯНИЕ ТОРФЯНИСТОГО СЛОЯ НА ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВЫ

Торф промерзает на меньшую глубину, чем минеральные грунты. В районе Игарки на низинном болоте, с которого систематически счищали снег, в течение зимы промерз слой полностью насыщенного водой торфа мощностью 160 см, а также слой суглинка (60 см), залегающий под ним (Константинова, 1962), в то время как суглинистые грунты на таких участках промерзают на 400 см.

Влияние подстилки и торфянистых горизонтов на промерзание почв в области вечной мерзлоты не изучено. Исследования вне этой области свидетельствуют, что подстилка заметно замедляет промерзание грунтов. В 1928 г. в Казанском опытном лесничестве в осиннике была снята подстилка, на второй день после выпадения снега глубина промерзания почвы была 35 см, а на контрольных участках — 5 см (Сахаров, 1938).

Следствием того, что подстилка, торфянистые горизонты, торф в сухое время лета становятся слаботеплопроводными, а при замерзании сильнотеплопроводными, они меньше препятствуют охлаждению грунтов зимой, чем прогреванию летом, что приводит к преобладанию промерзания над протаиванием.

ОСОБЕННОСТИ ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ БОЛОТ

Промерзание и протаивание болот характеризуется рядом специфических черт, обусловленных составом, водным режимом почв и особенностями растительного покрова. Роль торфа и его влагонасыщенности в промерзании и протаивании уже рассмотрена. Для значительной части болот характерно наличие воды на поверхности, создающей условия прогревания почв, сильно отличающиеся от тех, которые имеются на участках, лишенных воды. Вода лучше аккумулирует тепло, чем почва, так как альбедо воды меньше, а теплоемкость больше. Вода хорошо пропускает коротковолновую радиацию и препятствует длинноволновому излучению земли. На открытую водную поверхность поступает больше солнечной радиации, чем на почву, покрытую растительностью. Теплопроводность поверхностных слоев торфа в сухой период меньше, чем воды. Растительность болот испаряет нередко больше воды, чем открытая водная поверхность.

Следовательно, участки болот, покрытые слоем воды, протаивают значительно быстрее и глубже (табл. 54).

В районах, расположенных в южной части области вечной мерзлоты (северная тайга Западной Сибири, Енисейский Кряж, Южная Якутия, Амурская обл.) в болотах с водой на поверхнос-

Таблица 54

Протаивание болотных торфяных почв

Район наблюдений	Год	Место наблюдений	Глубина протаивания, см	
			с водой на поверхности	без воды
Низовья Индигирки	1952	полигональные тундровые болота	65—110	25—50
Низовья Яны	1952	полигональные болота в лесотундре	60—130	25—50
Низовья Енисея	1957	болота северной тайги, безлесные в понижениях	сезонномерзлый слой мощностью 31—110 см протаял полностью в июле	30—60
Низовья Надыма	1961	то же	сезонномерзлый слой мощностью 40—68 см протаял полностью в июле	34—55
Енисейский кряж	1960	болота вокруг зарастающих озер в долинах рек	сезонномерзлый слой протаял полностью в июле	30—60
Лено-Вилюйское междуречье, долина р. Ирэлээх	1956	болота вокруг зарастающих озер	130—155	30—60
Южная Якутия, долина р. Чульман	1954	то же	сезонномерзлый слой протает полностью в течении лета	30—60
Низовья Селемджи	1955	безлесные болота в долине Селемджи	слой торфа мощностью 85 см протаял полностью к 30 июля	50—70

ти, сезоннопромерзающие слои почвы протаивают полностью в течение лета, а на участках болот без воды глубина протаивания незначительна (30—70 см). На первых участках вечная мерзлота не встречается, на вторых залегает на глубине 30—70 см. Глубина протаивания торфяных почв под болотами без воды на поверхности мало изменяется в пределах области вечной мерзлоты. По мере развития растительности при зарастании водоемов, увеличения ее высоты, сомкнутости уменьшается приток тепла к поверхности почвы и уменьшается скорость и глубина протаивания.

При развитии сплошных зарослей растений влияние воды на протаивание значительно ослабевает. В долине Селемджи в болотах с водой на поверхности, на участках, где надводные части растений покрывают 30—50% поверхности, глубина протаивания в

1,5—2,5 раза больше, чем там, где развиты высокие (40—60 см) кочки осоки, листья и побеги которой сплошь закрывают межкочечные пространства с водой (табл. 55).

Таблица 55

Влияние сомкнутости растительного покрова на протаивание почвы на болотах с водой на поверхности, в долине р. Селемджи (1955 г.)

№ скважины	Дата	Мощность торфа, см	Состав отложений	Растительность	Покров растений, возвышающихся над водой, %	Глубина протаивания, см
12	30 июня	85	суглинки с 85 до 285 см, ниже—разрушенные коренные породы	болото без осоковых кочек	30—40	100
5	25 июня	45	суглинки с 45 до 291 см, ниже—дресва	осоковое кочковатое болото, кочки до 60 см высоты	100	45
48а	8 августа	60	суглинки с прослойками супеси с 60 до 239 см, ниже—пески до 252 см	участок болота без кочек	50	138
47	9 августа	45	суглинки с 45 до 112 см, ниже—супеси до 220 см, подстилаемые суглинками с галькой	моховое осоковое кочкарное болото и кочки до 40—50 см высоты	100	85

В процессе сезонной ритмики развития растений болот изменяются и условия прогревания болотных почв. Весной или в начале лета поверхность почвы болот хорошо прогревается, так как растительный покров еще только начинает развиваться. По мере увеличения высоты и сомкнутости болотных растений уменьшается приток тепла в почву, замедляется протаивание ее.

Таблица 56

Глубина промерзания торфяной почвы на осоковом болоте в районе Игарки в 1957/58 г. (по Константиновой, 1962)

Мощность снега, см	Глубина промерзания, см
107	65
85	78
0—снег счищался	220 (160 см торф, ниже суглинок)

Теплофизическая сторона процесса промерзания болот подробно рассмотрена В. В. Романовым (1961). Промерзание болот определяется в основном динамикой снегонакопления и в меньшей степени зависит от специфики растительного покрова, рельефа и состава торфа. Глубина промерзания насыщенных водой почв болот обратно пропорциональна высоте снега (табл. 56).

Глава III

ВЗАИМОСВЯЗЬ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА С ПРОТАИВАНИЕМ И ПРОМЕРЗАНИЕМ ГРУНТОВ

Растительный покров непрерывно изменяется. В данной работе рассматриваются лишь последовательные смены (сукцессии) и катастрофические смены. Последовательные смены совершаются в результате более или менее постепенной трансформации старого растительного сообщества в новое под влиянием как внутренних, так и внешних причин. Катастрофические смены совершаются в результате резкого воздействия внешнего фактора, разрушающего растительное сообщество. Эти смены происходят под влиянием как природных сил (обвалы, оползни и т. п.), так и в результате воздействия человека (пожары, распашка, вырубка).

Выяснение закономерных изменений промерзания, протаивания грунтов и развития вечной мерзлоты в связи с динамикой растительного покрова в различных условиях является одной из важнейших задач данной работы. Познание этих закономерностей помогает понять специфику воздействия изменений растительности на процессы промерзания и протаивания грунтов, и, что наиболее важно в практическом отношении, выяснить потенциальные возможности управления этими процессами с помощью регулирования растительного покрова.

Изменение промерзания и протаивания грунтов в процессе последовательных смен растительного покрова почти не изучено.

За исключением нескольких работ (Тюлина, 1936; Городков, 1946, 1950, 1956), в которых при описании смен растительного покрова приводятся сведения о глубине протаивания почвы; специальных исследований, посвященных разработке этой проблемы, нет. Правда, отдельные высказывания о роли динамики растительного покрова в промерзании и протаивании грунтов встречались в литературе еще задолго до оформления мерзловедения в самостоятельную отрасль науки.

Так, например, А. К. Левицкий в 1910 г. писал: «...так как под-

земная мерзлота несомненно имеет очень сложную динамику, будучи строго подчинена составу и состоянию поверхностного покрова (почвенного и растительного) и поэтому легко реагирующая на все изменения в этом покрове, то легко представить себе, что в связи с происходящей эволюцией растительных, а потому и почвенных образований, подземная мерзлота должна также реагировать в определенном направлении» (стр. 85). В частности, он совершенно правильно отмечал, что в результате зарастания сырых кочкарных пушицевых болот мхами и развития на их месте сфагновых болот мерзлота должна усиливаться. Э. К. Безайс (1911), обнаружив вечную мерзлоту под сомкнутым еловым лесом на Камчатке, полагал, что она недавнего происхождения и после неизбежной гибели ели создаются условия, способствующие лучшему прогреванию почвы и уничтожению мерзлого слоя.

Н. В. Квашнин-Самарин (1913) считал, что лесные насаждения по мере развития способствуют повышению уровня мерзлоты, которая убивает дерево, объясняя таким путем причину изреживания лесов по направлению к северу. Однако фактический материал, подтверждающий эти высказывания, в статьях почти не приводится. В некоторых работах середины 30-х годов и более поздних, выводы о роли растительности в динамике вечной мерзлоты обоснованы фактическими данными. М. Ф. Розен (1935), изучая распространение вечной мерзлоты на недавно сформировавшемся о. Зеленые Муры в дельте Печоры, пришел к заключению, что развитие мохового покрова и образование торфянистого горизонта приводит к слабой прогреваемости почв и к формированию вечной мерзлоты.

Л. Н. Тюлина (1936) отмечала, что в пойме р. Анадырь вечная мерзлота формируется по мере смены тополевого леса лиственными, в результате изменения пойменного режима и развития мохового покрова. А. Л. Биркенгоф (1940) высказал предположение, что в районе оз. Эворон (Дальний Восток) вечная мерзлота может возникнуть вновь в результате развития сомкнутого лиственного леса на торфах. Б. Н. Городков (1946) писал, что по мере развития растительности в процессе зарастания водоемов на севере Западной Сибири формируются вечномерзлые торфяники. Повышение верхней поверхности вечной мерзлоты в процессе развития пойменной растительности на Аляске отмечал Беннингхоф (Benninghoff, 1952).

Катастрофические изменения местности после вырубки лесов, пожаров, распашки и других резких изменений растительного покрова в области вечной мерзлоты, при которых на месте суши образуются провальное озеро, болота, овраги, давно привлекали внимание исследователей. Поэтому почти во всех работах по мерзловедению отмечается влияние уничтожения растительного покрова на вечную мерзлоту. Однако специальные исследования, посвященные этому вопросу, ограничиваются единственной работой В. Ф. Тумеля (1939), где оценивается значение лесных пожа-

ров в динамике вечной мерзлоты. В этой работе послепожарные изменения вечной мерзлоты рассмотрены на фоне глубокого анализа динамики ландшафта.

С 1949 по 1961 г. в различных районах области вечной мерзлоты были собраны материалы, характеризующие влияние последовательных смен растительного покрова на промерзание, протаивание, температуру грунтов и динамику вечной мерзлоты.

При исследованиях применялся метод сравнительного изучения сообществ, составляющих пространственные экологические ряды (Александрова, 1964). На основании сравнительного изучения сообществ, составляющих пространственные экологические ряды, устанавливались сукцессионные (временные) связи между этими сообществами.

Пространственные экологические ряды изучались в поймах рек, в зарастающих водоемах. В этих местообитаниях существуют природные процессы, протекающие в определенном направлении (накопление торфа, отложение наилка). Эти процессы в значительной степени определяют динамику растительного покрова и служат надежным доказательством того, что растительные сообщества, составляющие экологический ряд, повторяют ряд сукцессионный.

При изучении смен растительного покрова в процессе зарастания обнажений, восстановления лесов после пожара, последовательность стадий устанавливалась на основании определения возраста сообществ, сравнительного анализа почв, флористического состава сообществ, жизнеспособности отдельных видов и ряда других признаков сообществ.

В сообществах, составляющих экологические ряды, измерялась температура грунтов, определялась глубина промерзания, влажность их. Динамика протаивания почв изучалась путем ежегодных замеров глубин протаивания в фиксированных точках.

Заключения об изменениях протаивания, промерзания грунтов и развития вечной мерзлоты в процессе динамики растительного покрова производились на основании сопоставления изученных мерзлотно-грунтовых характеристик в сообществах, составляющих сукцессионные ряды.

Эти материалы излагаются последовательно, начиная с северных районов области вечной мерзлоты и кончая южными. Количество и качество материала по разным районам неодинаково, поэтому характеристики их даются с различной степенью подробности.

ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ТУНДРЕ

В зоне полярных пустынь вследствие отсутствия сомкнутого растительного покрова и незначительной его высоты на большей части территории влияние его на промерзание, протаивание почв и динамику вечной мерзлоты невелико. Лишь на участках, где развивается сплошной растительный покров и накапливается торфя-

нистый слой, это влияние проявляется более заметно. Так, на о. Котельном по мере увеличения сомкнутости растительности и увеличения торфянистого слоя глубина протаивания почв уменьшается на 10—30 см по сравнению с участками, на которых нет растительности (Городков, 1956).

В тундровой зоне в связи с увеличением высоты и плотности растительного покрова и усилением накопления органических остатков в почве и на ее поверхности значение динамики растительности в протаивании и промерзании почв возрастает по сравнению с зоной полярных пустынь. Сомкнутый растительный покров в тундровой зоне развит на преобладающей части ее территории. Влияние его на протаивание почв не ограничивается отдельными, обособленными по площади участками, как в зоне полярных пустынь, а проявляется на обширных пространствах. Роль динамики растительности в протаивании и промерзании почв возрастает при движении с севера на юг. В подзоне пятнистых тундр, где большая часть территории покрыта несомкнутой растительностью, влияние ее на протаивание почв мало отличается от того, которое наблюдается в зоне полярных пустынь, и наиболее четко проявляется там, где есть условия для развития сомкнутого растительного покрова (в долинах рек, термокарстовых понижениях, на склонах южной экспозиции и т. п.).

В подзоне типичных (моховых) тундр влияние растительности на протаивание почв проявляется на большей части территории, так как здесь преобладают сомкнутые растительные сообщества.

В нашем распоряжении нет фактического материала об изменениях глубин протаивания почвы по мере смен растительных сообществ в подзонах пятнистых и мохово-лишайниковых тундр. Однако о роли динамики растительного покрова в протаивании почв в пределах этих подзон можно судить по различиям глубин протаивания почв на участках, покрытых растительностью и обнаженных.

В подзоне пятнистых тундр Таймырского п-ова глубина протаивания суглинков под растительным покровом (между пятнами-медалями) на 25—45 см меньше, чем на крупных пятнах.

В подзоне лишайниково-моховых тундр Сибири глубина протаивания суглинистых почв под растительностью на 25—55 см меньше, чем на обнаженных участках, а песчаных — соответственно на 45—55 см (табл. 57).

В подзоне кустарничковых тундр глубина протаивания суглинистых почв под растительностью на 25—80 см меньше, чем на обнаженных участках. В тундре Воркутинского района глубина протаивания в естественных условиях и на обнаженных участках в 1,5—2 раза больше, чем в низовьях Индигирки. Эти различия, очевидно, обусловлены разным климатом. Температура вечномерзлых грунтов в Воркутинском районе около —1,0°, а в низовьях Индигирки —10°. Более продолжительный период протаивания и большее количество дождевых осадков также благоприятствуют более

Глубина протаивания почв в наиболее типичных ландшафтах тундры в естественных условиях и на обнаженных участках (пятнах)

Подзона	Район наблюдений	Тип тундры, лесотундры	Состав почвы	Мощность, см		Глубина протаивания, см		автор
				напоч.- венного покро- ва	торфа- нистого гори- зонта	в естест- венных ус- ловиях	на обна- женных ус- участках	
Пятнистых тундр	Таймырский п-ов	пятнистая	суглинок	3—5	5—15	25—35	60—70	Константинова (1956)
	Гыданский п-ов	моховая	»	3—5	3—4	40—45	78—90	Городков (1932)
	Таймырский п-ов	лишайниково-моховая	песок	—	—	67	111—123	Городков (1932)
	Побережье Чаунской губы	»	суглинок	3—5	5—15	25—45	70—80	Константинова (1961a)
Кустарничковых тундр	Воркутинский	кустарничково-моховая	суглинок	3—5	5—15	65—100	145	Городков (1932a)
	Низовья Индигирки	то же	»	3—7	5—20	30—55	80—90	Тыртиков (1952)
	Таймырский п-ов	лишайниково-редко-лесная	»	3—7	5—20	30—60	90—110	Константинова (1961a)
	Низовья р. Яны	то же	»	5—7	5—20	30—50	80—100	Тыртиков (1952)
Лесотундра	Низовья р. Колымы	»	»	3—7	5—20	30—60	100—110	Константинова

глубокому протаиванию почв в первом районе по сравнению со вторым.

Под растительным покровом преобладающих ландшафтов лесотундры глубина протаивания суглинистых почв на 30—80 см меньше, чем на обнаженных участках (см. табл. 57).

Следовательно, в процессе развития растительного покрова на обнаженных участках в тундровой зоне глубина протаивания почвы уменьшается на 25—80 см; и соответственно повышается поверхность вечной мерзлоты. Данное положение подтверждается наблюдениями изменения глубины протаивания почвы по мере смен растительных сообществ в поймах рек, при зарастании обнажений, водоемов.

В тундре динамика растительного покрова в связи с протаиванием грунтов изучалась в низовье р. Индигирки, вблизи северной границы лесотундры и в долине р. Яны — в лесотундре.

Низовье р. Индигирки

Наблюдения проводились в прирусловой пойме и на склоне древней террасы около пос. Чокурдах.

В пойме в ходе зарастания песчаных отложений выделено три стадии развития растительного покрова.

1. Щучково-хвощовый луг (преобладают *Deschampsia borealis*, *Equisetum arvense*) развивается на участках, значительную часть лета залитых водой. По мере накопления наилка и повышения уровня прирусловой поймы уменьшается период затопления и на лугу поселяются ивы.

2. Ивняк. Постепенно луг сменяется ивняком. В кустарниковом ярусе высотой до 2,5 м преобладают ивы: *Salix speciosa*, *S. lanata*, *S. viminalis*; встречается ольха (*Alnus fruticosa*). Под сомкнутым пологом ив травы и мхи развиты слабо.

3. Ольшаник. Дальнейшее повышение уровня поймы ведет к уменьшению периода затопления, толщины отлагающегося наилка. Ежегодное отложение наилка затрудняет развитие мхов, которое усиливается по мере уменьшения слоя отлагаемого ила. На высоком уровне прирусловой поймы отложение ила почти прекращается и развивается сплошной моховой покров. По мере нарастания мхов нижняя часть мохового покрова отмирает и, накапливаясь, образует торфянистый горизонт почвы. Развитие сплошного мохового покрова и торфянистого горизонта замедляет протаивание почвы. Уровень вечной мерзлоты постепенно повышается за счет перехода нижних слоев почвы в вечномерзлое состояние. Почва постепенно истощается, так как питательные вещества не доставляются полыми водами и консервируются в торфянистом слое.

Ухудшение почвенных условий влечет гибель ив и они сменяются ольхой. Под разреженным пологом ольхи развивается травяно-кустарничковый ярус, в котором преобладают багульник (*Ledum decumbens*) и голубика (*Vaccinium uliginosum*); часто встречаются

ся карликовая береза (*Betula exilis*), смородина (*Ribes triste*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), грушанка (*Pirola incarnata*), морошка (*Rubus Chamaemorus*). В сплошном напочвенном покрове высотой 5—6 см преобладают мхи: *Pleurozium schreberi*, *Camptothecium trichoides*, встречаются *Aulacomnium palustre*, *A. turgidum*, *Drepanocladus uncinnatus*, *Hylocomium proliferum*; лишайники: *Stereocaulon paschale*, *Peltigera aphthosa*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*.

В процессе развития растительности в прирусловой пойме Индигирки от луговой стадии к ольшанику глубина протаивания почвы уменьшается в 2—4 раза, на 40—75 см (табл. 58). Главную роль в изменении мерзлотных условий играет развитие мхов.

Таблица 58

Изменение глубины протаивания пылевато-песчаной почвы в процессе развития растительности в прирусловой пойме р. Индигирки

Стадии развития растительности	Сомкнутость кустарников, покрытие трав, кустарничков	Мощность, см		Глубина протаивания (с м) в середине сентября 1952 г.
		напочвенного покрова	торфянистого горизонта	
Щучково-хвощовый луг . .	60—80	нет	нет	90—100
Ивняк	0,7—0,9	нет	нет	65—75
Ольшаник	0,4—0,8	5—6	5—20	25—50

На склонах террасы, сложенной льдонасыщенными пылеватыми суглинками, включающими полигонально-жильные льды, часто формируются обнажения в результате оползней, образования оврагов и т. п. После прекращения вытаивания полигонально-жильных льдов образуются бугры-байджерахи, зарастающие и сохраняющиеся поэтому даже на крутых склонах. Отмечены три стадии зарастания обнаженных склонов.

1. Злаково-разнотравный луг на склонах южной экспозиции характеризуется обилием злаков: пырей (*Agropyron transbaicalense*), вейник (*Calamagrostis lapponica*), мятлик (*Poa pratensis*), овсяница (*Festuca brevifolia*), арктагросис (*Arctagrostis latifolia*), трищетинник (*Trisetum spicatum*), из разнотравья часто встречаются полынь (*Artemisia Tilesii*), ясколки (*Cerastium maximum*, *C. beeringianum*), незабудка (*Myosotis asiatica*), камнеломки (*Saxifraga punctata*, *S. cernua*, *S. stellaris*), валериана (*Valeriana capitata*), живокость (*Delphinium middendorffii*), лютик (*Ranunculus borealis*), горец (*Polygonum ellipticum*), скерда (*Crepis chrisantha*), мак (*Papaver radicum*), синюха (*Polemonium acutiflorum*), крестовник (*Senecio frigidus*), звездчатка (*Stellaria palustris*), мытники (*Pedicularis sudetica*, *P. Hirsuta*, *P. sceptrum carolinum*), астрагал (*Astragalus alpinus*), незабудочник (*Eritrichium villosum*), княженика (*Rubus arcticus*) и другие; встречается подрост кустарников — ив (*Salix lanata*, *S. pulchra*, *S. glauca*) и ши-

повника (*Rosa acicularis*). Высота травостоя около 30—40 см, общее покрытие 60—90%.

2. Ивняк с травяным покровом развивается на месте луга. Ивы высотой 1—2,5 м вначале растут отдельными кустами и перемежаются луговыми полянами с тем же травостоем, что и на лугу. Глубина протаивания почвы под таким ивняком мало уменьшается по сравнению с лугом (табл. 59).

Таблица 59

Изменение глубины протаивания суглинистой почвы в процессе зарастания склона оврага на II надпойменной террасе р. Индигирки

Стадии зарастания склона	Покрытие трав, кустарников, %	Мощность, см		Глубина протаивания (см) в середине сентября 1952 г.
		напочвенного покрова	торфянистого горизонта	
Обнаженный участок	нет	нет	нет	110—130
Злаково-разнотравный луг	70—90	нет	нет	90—100
Ивняк с травяным ярусом	90—100	нет	нет	70—80
Ивняк с моховым покровом	60—70	3—5	2—10	40—65

3. Ивняк с моховым покровом (рис. 2). Ивы постепенно смыкаются, травостой изреживается, многие виды выпадают.

На почве накапливается подстилка, развиваются мхи, формируется торфянистый горизонт. Накопление торфянистого слоя за счет мхов и опада кустарников ведет к понижению температуры почвы в течение вегетации, уменьшению глубины протаивания и к обеднению почвы питательными веществами. Рост кустарников замедляется, полог их становится разреженным, под ними поселяются кустарнички. В кустарниковом ярусе, сомкнутость полога которого 0,3—0,6, преобладают ивы (виды их отмечены при описании луговой стадии), встречается шиповник.

В травяно-кустарничковом ярусе высотой до 30 см преобладают голубика, багульник, брусника, карликовая береза, часто встречаются водяника, кассиопея (*Cassiope tetragona*), дриада (*Dryas punctata*), хвощ (*Equisetum arvense*), камнеломка (*Saxifraga punctata*), грушанка (*Pirola incarnata*), валериана, лаготис (*Lagotis stelleri*) и др. В напочвенном покрове, общее покрытие которого 60—80%, высота 3—6 см, преобладают мхи: *Pleurozium schreberi*, *Aulacomnium turgidum*, *Camptothecium trichoides*, *Drepanocladus uncinnatus*.

При зарастании обнаженных склонов глубина протаивания почвы уменьшается на 55—90 см (см. табл. 59).

Моховой покров — важнейший фактор, замедляющий протаивание грунтов и сохраняющий вечную мерзлоту.

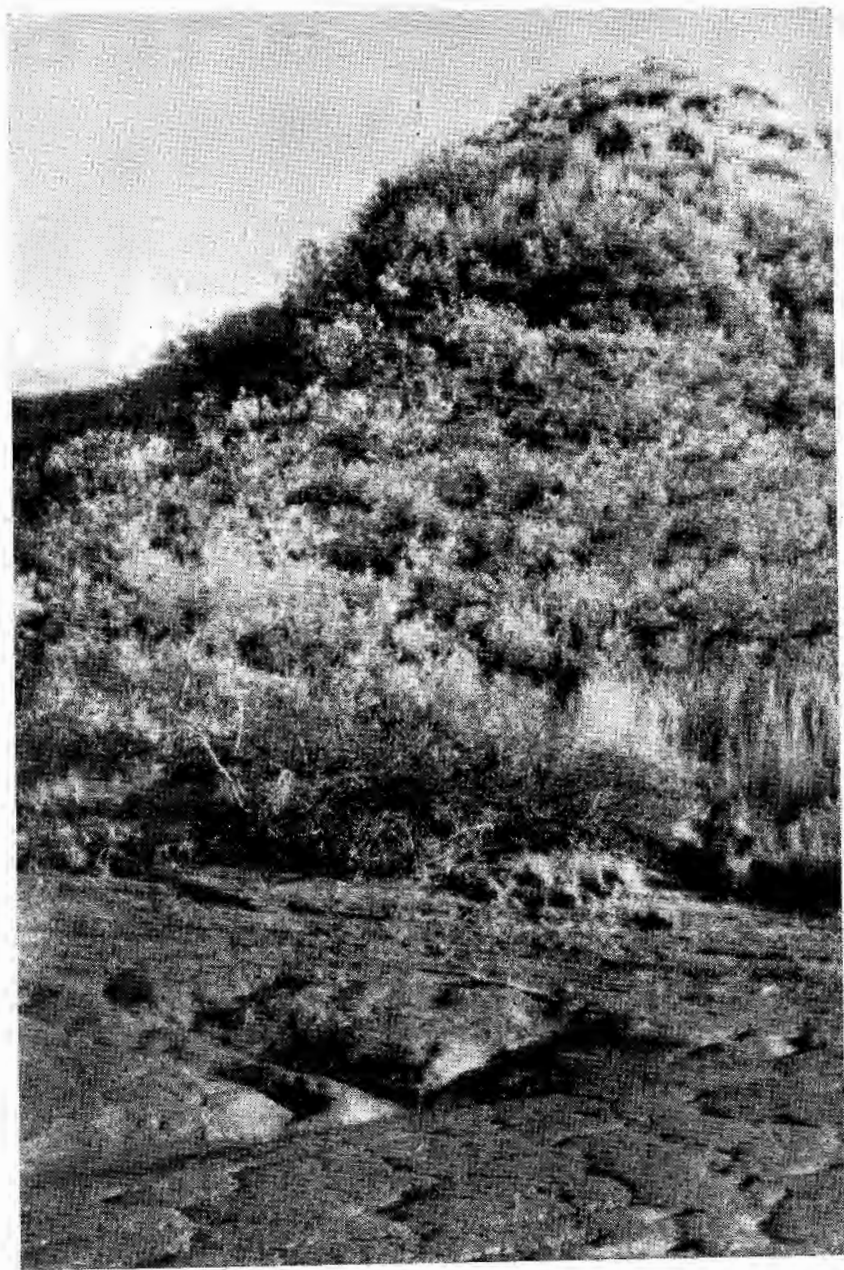


Рис. 2. Склон байджеха, заросший ивняком

Долина р. Яны

В долине р. Яны исследования проводились в пределах лесотундры на отрезке от пос. Казачье до пос. Усть-Янск, в пойме и на надпойменной террасе.

В пойме в процессе зарастания аллювиальных наносов выделяются четыре стадии развития растительного покрова.

1. Щучково-хвощовый луг развивается на свежем аллювии прирусловой поймы низкого уровня, преобладают щучка (*Deschampsia borealis*), хвощ (*Equisetum arvense*), часто встречаются мятлик (*Poa pratensis*), осока (*Carex saxatilis*), сердечник (*Cardamine pratensis*), лисохвост (*Alopecurus borealis*). Высота основной массы трав в конце августа — 15—20 см, общее покрытие — 60%. Иловато-песчаная почва протаивает на 90—110 см.

2. Ивняк. Накопление ила и повышение уровня поймы создают благоприятные условия для развития ив. Луг постепенно зарастает ивами, обычно преобладают *Salix speciosa*, *S. phylicifolia*, *S. lanata*, *S. glauca*, *S. reptans*. Под сомкнутым пологом ив травостой редок, на прогалинах встречаются все отмеченные представители щучково-хвощового луга, мхов нет. Иловато-песчаная почва под густым ивняком протаивает значительно медленнее, чем на лугу (табл. 60).

3. Ольшаник. Дальнейшее повышение уровня поймы благоприятствует развитию ольхи (*Alnus fruticosa*). Постепенно ивняки сменяются ольшаником. Смена, вероятно, происходит в результате вытеснения теневыносливой ольхой светолюбивых ив. В кустарниковом ярусе помимо господствующей ольхи встречаются ивы, а также смородина (*Ribes triste*) и роза (*Rosa acicularis*). В травянистом ярусе высотой 10—20 см преобладает княженика (*Rubus arcticus*), часто встречаются камнеломки (*Saxifraga punctata*, *S. cernua*), валериана (*Valeriana capitata*), живокость (*Delphinium cheilanthum*), горец (*Polygonum viviparum*), вейники (*Calamagrostis Langsdorffii*, *C. lapponica*), овсяница (*Festuca rubra*), арктаргостис (*Arctagrostis latifolia*), селезеночник (*Chrysosplenium alternifolium*), хвощи (*Equisetum arvense*, *E. scirpiodes*), грушанка (*Pirola incarnata*), мытник (*Pedicularis lapponica*). Напочвенный покров занимает не более 60% поверхности почвы, в его составе преобладает *Drepanocladus uncinnatus*. На участках, занятых ольховым кустарником, почва протаивает на 30—60 см. Среди ольхового кустарника хорошо развивается подрост лиственницы.

4. Лиственничный редкостойный лес сменяет ольховый кустарник. Под древесным ярусом высотой 5—15 м развит подлесок из ольхи, в котором также встречаются ивы (*Salix glauca*, *S. reptans*), смородина, роза, карликовая береза (*Betula exilis*). В травяно-кустарничковом ярусе преобладает голубика (*Vaccinium uliginosum*), часто встречаются княженика, багульник (*Ledum decumbens*), мятлик, вейники, хвощ (*Equisetum scirpioides*), камнеломки. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Pleu-*

rozum schreberi, *Hylocomium proliferum*, *Aulacomnium palustre*, *Ptilidium ciliare*, часто встречаются *Sphagnum girgensohnii*, *Sph. angustifolium*.

В прирусловой пойме р. Яны под влиянием развития растительности глубина протаивания почвы уменьшается. Под лесом она уменьшается на 65—85 см по сравнению с лугом (табл. 60). Это уменьшение обусловлено преимущественно развитием мохового покрова.

Таблица 60

Изменение глубины протаивания пылевато-песчаной почвы в процессе развития растительности в прирусловой пойме р. Яны

Стадия развития растительности	Сомкнутость кроны древостоя	Сомкнутость полога кустарников	Покровие, %		Мощность, см		Глубина протаивания (см) в конце августа 1952 г.
			трав и кустарничков	напочвенного покрова	мха	торфянистого горизонта	
Щучково-хвощовый луг	—	—	60	нет	нет	нет	90—110
Ивняк	—	0,6—0,8	20—50	нет	нет	нет	60—80
Ольшаник	—	0,6—0,8	30—40	30—60	4	нет	30—60
Редкостойный, лиственный лес с подлеском из ольхи	0,2—0,4	0,2—0,3	30—50	100	4—7	5—15	25—40

ЗАРАСТАНИЕ ПОЛИГОНОВ

Поймы восточно-сибирских рек в пределах лесотундры характеризуются развитием полигонального микрорельефа. Развитие растительности оказывает влияние на эволюцию полигонального микрорельефа. В лесотундре в поймах рек Яны и Индигирки нами наблюдались четыре стадии развития растительности на полигонах, отличающиеся также степенью выраженности полигонально-валикового микрорельефа, глубиной протаивания и составом почвы.

Первая стадия характеризуется наличием открытой водной поверхности в центральных частях полигонов, наибольшей высотой валиков, четкой выраженностью трещин между валиками соседних полигонов. Полигональный микрорельеф развит на ровных участках высокой поймы р. Яны (рис. 3). Сеть трещин разбивает почву на прямоугольные отдельные участки, размером 7—15 м × 10—20 м. Около трещин — валики шириной до 4 м, возвышающиеся над центральными пониженными участками на 30—70 см. Ширина трещин между соседними валиками до 0,5 м, глубина до 0,75 м, на дне трещин обычно вода, под которой — лед. На повышенных участках валиков растут отдельные лиственницы или не-

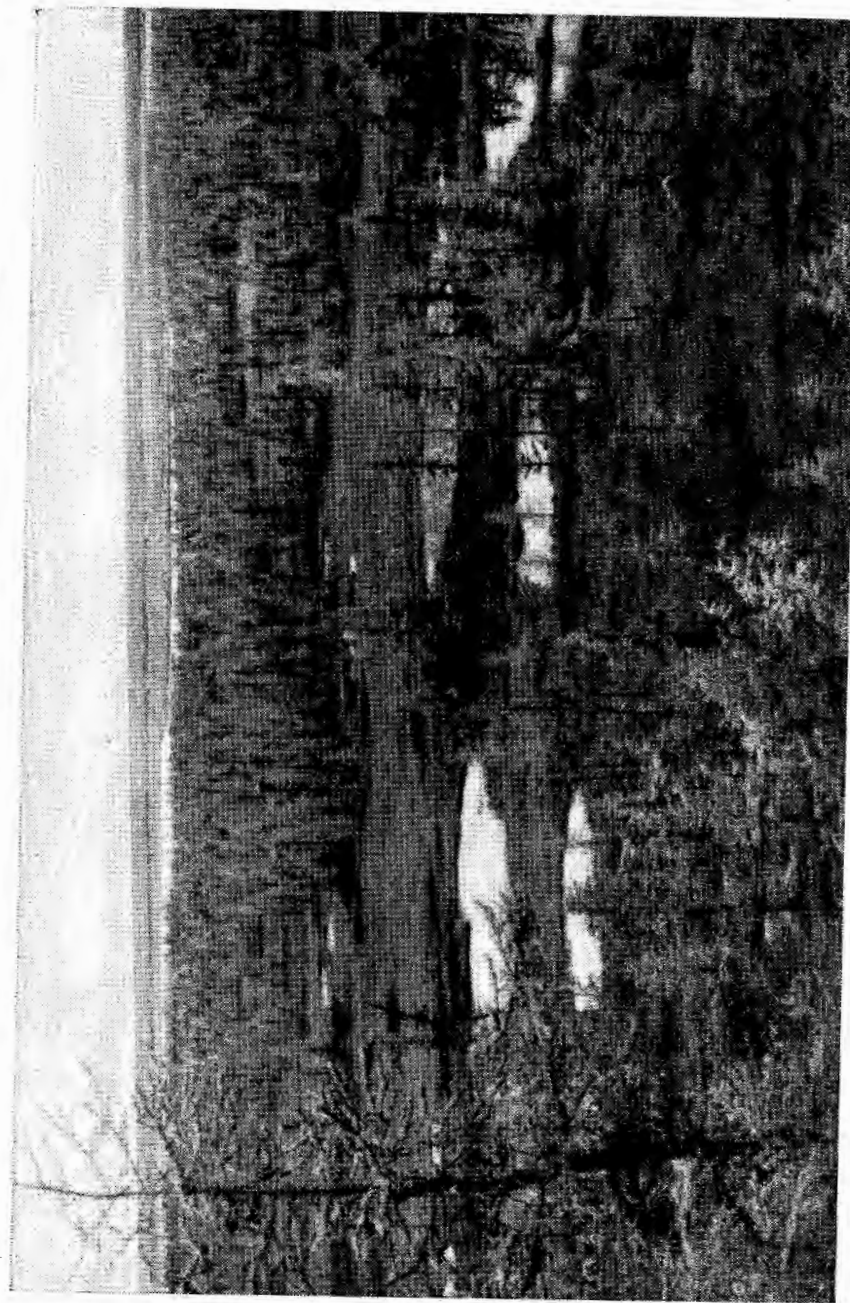


Рис. 3. Высокая пойма р. Яны с озерами в центрах полигонов у пос. Усть-Янск

большие группы их. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают: морошка, голубика, болотный мирт (*Chamaedaphne calyculata*), часто встречаются ивы (*Salix pulchra*, *S. glauca*, *S. myrtilloides*), пушица (*Eriophorum vaginatum*), вейник (*Calamagrostis lapponica*). В сплошном напочвенном покрове преобладают мхи: *Aulacomnium palustre*, *Camptothecium trichoides*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilidium ciliare*.

На пониженных участках валиков, расположенных ближе к центрам полигонов, доминируют осока (*Carex stans*) и пушицы (*Eriophorum angustifolium*, *E. scheuchzeri*), при этом осока часто образует внешний пояс, а пушицы — внутренний. В центральных частях полигонов расположены озерки глубиной до 70 см, окаймленные поясом зарослей вахты (*Menyanthes trifoliata*), граничащим с поясом пушиц. Открытые водоемы в центральных частях полигонов аккумулируют много тепла в летнее время, и почва под ними протаивает нередко до 130 см. Под поясом вахты почва протаивает уже на 60—80 см (глубина воды здесь 15—30 см), под поясами осоки и пушиц — на 60—70 см, под листовенницами — на 30—50 см. По мере накопления растительных остатков и минеральных осадков центральные участки полигонов мелеют, и заросли вахты постепенно заполняют центральные части полигонов.

Вторая стадия внешне характеризуется зарослями вахты в центральных частях полигонов (рис. 4), более сухими валиками, продвижением поясов водно-болотной растительности к центрам полигонов. Высота валиков и ширина трещин между ними не изменяются существенно по сравнению с первой стадией. В то время как заросли вахты вместе с пузырчаткой (*Utricularia vulgaris*) и мхами (*Drepanocladus revolvens*, *Scorpidium scorpidoides* и др.) заселяют центральные части полигонов, осоки и пушицы продвигаются также к центрам, а на месте осоково-пушицевого пояса развиваются мхи, встречается подрост листовенницы. Накопление торфа и увеличение высоты валиков также приводят к существенным изменениям в составе трав, кустарничков и напочвенного покрова. В травяно-кустарничковом ярусе повышенных участков валиков преобладают багульник (*Ledum decumbens*), карликовая береза (*Betula exilis*), брусника, водяника; встречаются часто овсяница (*Festuca brevifolia*), мятлик (*Poa pratensis*), а также виды, отмеченные при описании предшествующей стадии. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Ptilidium ciliare*, *Pleurozium schreberi*, часто встречаются: *Aulacomnium turgidum*, *Peltigera aphthosa*, *Stereocaulon paschale*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*.

На пониженных участках валиков в травяно-кустарничковом ярусе преобладают и распространены виды кустарничков и трав, отмеченные при описании растительности повышенных участков валиков предшествующей стадии, а в напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium palustre*, *Camptothecium trichoides*, *Sphagnum acutifolium*. На этой стадии также наблюдаются большие различия в глубине протаивания почвы между валиками и централь-

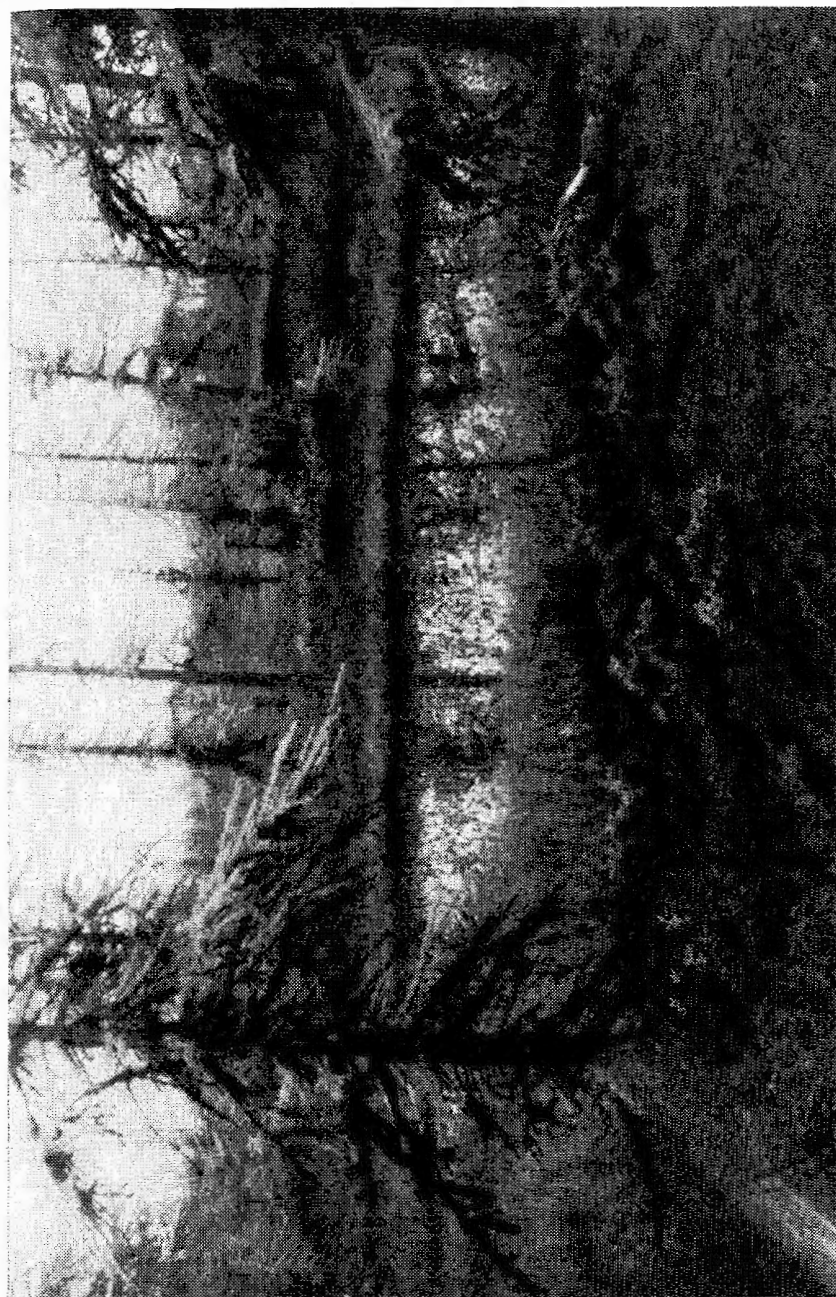


Рис. 4. Вахта в центре полигона

валиками и центрами. Очевидно, выравнивание микрорельефа происходит вследствие того, что накопление торфа в центральных частях их совершается более интенсивно, чем на валиках, так как мхи на первых участках растут в условиях более сильного увлажнения и поэтому быстрее, чем на вторых. Выравнивание поверхности полигонов создает однообразные экологические условия на всех участках их, вследствие чего, с одной стороны, влаголюбивые сфагновые и другие мхи постепенно заселяют валики, угнетая лиственницу (см. рис. 6) и кустарнички, а лиственница, хотя и в очень угнетенном состоянии, поселяется в центральных частях полигонов. Накопление торфа на полигонах приводит к общему повышению их поверхности над уровнем воды в реке, сначала к частичному (временному), а затем и к полному исключению из пойменного режима.

Накопление торфа и развитие мохового покрова также способствуют ослаблению трещинообразования, уменьшению амплитуды температур почвы в зимний период. Поселяющиеся в трещинах мхи постепенно заполняют их и маскируют внешние следы полигональной сети. Заращение трещин ухудшает условия существования деревьев, ибо дренаж валиков ослабевает, глубина протаивания уменьшается, а мощность торфа увеличивается. Рост и развитие деревьев по мере заращения полигонов замедляются, древостой становится все более низкорослым и угнетенным. Таким путем на месте редколесий на полигонах формируется редколесье на сфагновом болоте. Оно характеризуется крайней угнетенностью древостоя и подроста, обилием мертвых деревьев. В подлеске изредка встречается ольха. Травяно-кустарниковый ярус редкий, в нем преобладают морощка, багульник, часто встречаются брусника, клюква (*Oxycoccus microcarpus*), карликовая береза, голубика, болотный мирт, смилацина (*Smilacina trifolia*). В сплошном напочвенном покрове преобладают сфагны (*Sphagnum balticum*, *Sph. acutifolium*), часто встречаются *Aulacomnium palustre*, *A. turgidum*, *Campthothecium trichoides*, *Ptilidium ciliare*, *Cladonia amaro-craea*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*. Торфяная почва под такими редколесьями протаивает на 25—40 см.

Процесс заращения полигонов в пределах пойм рек восточно-сибирской лесотундры не только способствует уменьшению глубины протаивания почвы и повышению верхней поверхности вечной мерзлоты, но и влечет изменение состава верхних слоев вечномерзлой толщи, так как в процессе заращения их накапливается торф, который впоследствии становится вечномерзлым. Очевидно, что изучение процессов заращения полигонов имеет существенное значение для расшифровки условий формирования и промерзания четвертичных отложений в настоящее время и в прошлом.

На надпойменной террасе р. Яны исследовалось заращение водоемов и обнажений.

Заращение озер в Усть-Янской лесотундре характеризуется следующими этапами.



Рис. 6. Моховые кочки в центре полигона

1. Заросли арктофилы развиваются на участках озер, где глубина не превышает 50—60 см (рис. 7). Небольшое (20—30%) покрытие арктофилы, по-видимому, не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на протаивание почвы. Иловато-суглинистая почва протаивает здесь на 110—120 см. Отмирающие ежегодно стебли арктофилы накапливаются на дне, способствуя дальнейшему обмелению участка.

2. Когда глубина воды достигнет 30—35 см, на участке поселяется вахта, постепенно вытесняющая арктофилу, последняя продвигается по направлению к более глубоким участкам озер. Вахта покрывает до 60% поверхности воды, возвышаясь на 15—20 см. Кроме вахты встречаются часто арктофила, хвощ (*Equisetum heleocharis*).

3. Дальнейшее обмеление участка способствует развитию хвоща. Хвощ возвышается на 50—70 см над поверхностью воды (покрытие до 60%). Среди зарослей хвоща встречаются вахта, сабельник (*Comarum palustre*), арктофила, пушица (*Eriophorum angustifolium*), осока (*Carex aquatilis*). Развитие растительности оказывает влияние на ход протаивания почвы. По мере увеличения высоты и сомкнутости растительности глубина протаивания уменьшается; под зарослями вахты почва протаивает на 70—80 см, под сообществом хвоща на 60—70 см (табл. 62).

4. Заросли хвоща сменяются обычно пушицево-осоковым болотом. Осока (*Carex aquatilis*) образует кочки высотой до 20—25 см (диаметр их до 20 см), занимающие около 30—40% поверхности болота. Между кочками в понижениях с водой обильна пушица (*Eriophorum angustifolium*), часто встречаются хвощ, арктофила, сабельник, вейник (*Calamagrostis groenlandica*), пушица (*Eriophorum scheuchzeri*), ивы (*Salix myrtilloides*, *S. glauca*, *S. reptans*). В воде встречаются мхи *Drepanocladus revolvens*, *Scorpidium scorpioides*, на кочках — *Sphagnum balticum*, *Sph. obtusum*. Почти сплошной растительный покров сильнее препятствует протаиванию почвы, чем на предшествующей стадии, и глубина протаивания соответственно уменьшается до 50—60 см.

5. Развивающийся моховой покров постепенно заполняет понижения между кочками, а затем угнетает и вытесняет осоку и пушицу. На сплошном моховом ковре поселяются лиственница, ольха, правда, рост их сильно угнетен, а также кустарнички: болотный мирт, голубика, багульник, андромеда, карликовая береза. Встречаются также ивы (*Salix pulchra*, *S. myrtilloides*, *S. glauca*, *S. reptans*). Иногда в большом количестве развивается пушица (*Eriophorum vaginatum*), кочки которой полупогружены в моховой ковер. В конечном итоге здесь формируется редколесье на сфагновом болоте. В древостое — крайне угнетенные лиственницы, растущие на сплошном моховом ковре, состоящем в основном из *Sphagnum balticum*, *Sph. acutifolium*.

В травяно-кустарничковом ярусе преобладает морошка, часто встречается клюква (*Oxycoccus microcarpus*), а также изредка

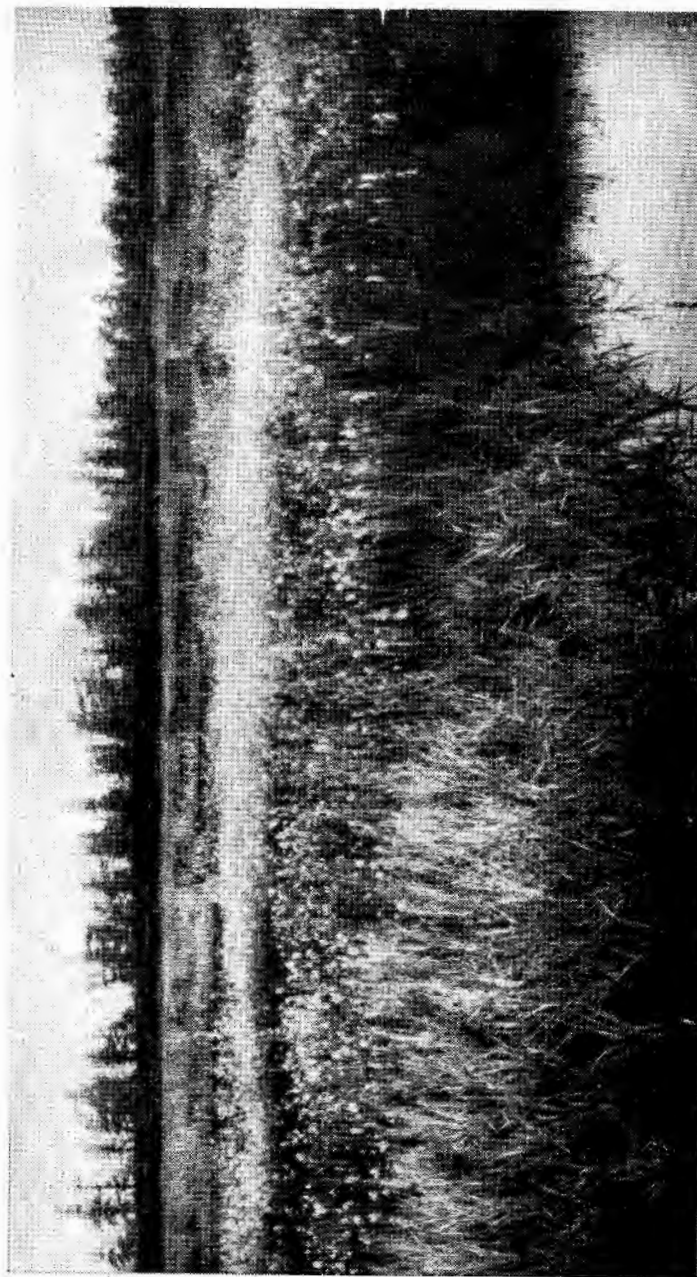


Рис. 7. Арктофила и пушица в пойме р. Яны

Изменение глубины протаивания почвы в про

Стадии зарастания полигонов		Почва		Покровы трав, кустарничко в, %	
на валиках	в центральных частях	на валиках	в центральных частях	на валиках	в центральных частях
Лиственничное редколесье и осоково-пушищевое болото	открытый водоем	торфянисто-иловато-суглинистая торфяная	иловатый суглинок	40—60	нет
Лиственничное редколесье	заросли вахты	торфяная	то же	40—70	40—60
То же	осоково-пушищевые болота	»	торфянисто-иловато-суглинистая торфяная	40—70	30—70
То же	лиственничное редколесье	»	»	20—50	20—50

виды, отмеченные в предшествующей стадии. Торфяная почва протаивает всего на 25—40 см. По мере обмеления озер отмеченные растительные сообщества продвигаются в указанной последовательности к центральным частям, заполняя их растительными остатками и сокращая водную поверхность. Под крупными озерами в низовьях р. Яны формируются талики, промерзающие по мере обмеления участков озер. Растительный покров, ухудшая прогревание почвы в процессе зарастания озер, способствует ускорению процесса промерзания таликов, сформировавшихся под влиянием аккумуляции тепла водой. По мере обмеления озера донные отложения промерзают все глубже и, наконец, глубина промерзания их становится настолько значительной, что они не успевают оттаять за летний период. Таким путем формируются перелетки, а затем вечная мерзлота на мелководных озерах. Под влиянием развития растительности нижние слои почвы переходят в вечномерзлое состояние, таким путем уровень верхней поверхности вечной мерзлоты повышается (табл. 62). На месте озера образуются вечномерзлые торфяники, покрытые лиственничным редколесьем. Процесс зарастания крупных озер в целом сходен с зарастанием водоемов в центрах полигонов в пойме р. Яны и заканчивается той же конечной стадией (табл. 61, 62).

Зарастание обнажений. Обнаженные участки формируются в низовьях р. Яны на древней террасе вдоль берегов рек, озер и на склонах оврагов. При этом на участках, где есть жилые льды, образуются бугры-байджерахи, чередующиеся с межбугровыми понижениями. Обнаженные склоны быстро покрываются растительностью, как только их разрушение прекращается.

Выделены две стадии зарастания обнажений на склонах различных элементов рельефа.

цессе зарастания полигонов в пойме р. Яны

Мощность гл.				Глубина протаивания (см) в начале сентября 1952 г.	
мохового покрова		торфянистого горизонта			
на валиках	в центральных частях	на валиках	в центральных частях	на валиках	в центральных частях
3—6	нет	5—30	нет	30—70	100—130
3—6	—	больше 40	нет	30—50	60—
3—6	5—10	» 40	10—20	25—40	60—70
4—6	4—6	» 40	больше 40	25—40	25—40

1. Луговая я. В первые годы после стабилизации склонов у их оснований и в понижениях между байджерахами, где почва в течение всего вегетационного периода мокрая, вследствие непрерывного, хотя и медленного, поступления воды с верхних участков, на которых еще продолжается вытаивание льда, развиваются сплошные заросли крестовника (*Senecio paluster*). На средних, более сухих участках склонов байджерахов (увалов и т. п.) развиваются заросли кипрея (*Chamaenerion angustifolium*), лебеды (*Chenopodium rubrum*), часто группами встречаются звездчатка (*Stellaria longipes*), мультедиум (*Mulgedium sibiricum*). В последующие годы эти первые поселенцы постепенно вытесняются другими тра-

Таблица 62

Изменение глубины протаивания почв в процессе зарастания озер в низовье р. Яны

Стадии зарастания озер	Почва	Покровы трав, кустарничков, %	Мощность напочвенного покрова, см	Глубина воды, см	Глубина протаивания (см) к началу сентября 1952 г.
Заросли арктофилы	иловато-суглинистая	20—30	нет	50—60	110—120
Заросли вахты	торфянисто-иловато-суглинистая	40—60	нет	20—30	70—80
Заросли хвоща	то же	40—80	нет	10—20	60—70
Пушищевое-осоковое болото	торфянисто-иловатая	70—90	—	5—10	50—60
Лиственничное редколесье на сфагновом болоте	торфяная	20—50	5—7	нет	25—40

вами, в нижних частях склонов увалов (байджерахов и т. п.) развиваются разнотравно-злаковые луга. В травостое преобладают мятлик (*Poa pratensis*), арктагrostис (*Arctagrostis latifolia*), часто встречаются хвощ (*Equisetum arvense*), щучка (*Deschampsia borealis*), жеруха (*Roripa palustris*), мытники (*Pedicularis sceptrum carolinum*, *P. sudetica*), живокость (*Delphinium Cheilanthes*), княженика.

В мокрых пониженных участках между байджерахами преобладает пушица (*Eriophorum scheuchzeri*), часто встречаются болотный кипрей (*Epilobium palustre*), нарциссия (*Nardosmia frigida*), камнеломка (*Saxifraga punctata*), белозор (*Parnassia palustris*). На средних частях склонов байджерахов развиваются сплошные заросли княженики, пырея (*Agropyron turuchanense*), ячменя (*Hordeum jubatum*), местами обильна вайда (*Isatis jacutensis*). Наиболее сухие и повышенные участки байджерахов и склонов покрыты зарослями полыни (*Artemisia tilesii*).

Развитие травостоя замедляет прогревание почвы летом, и глубина протаивания ее уменьшается (табл. 63).

2. Лесная стадия. На луговых склонах развивается прекрасный подрост лиственницы, ив (*Salix speciosa*, *S. glauca*, *S. phylicifolia*, *S. reptans*) и ольхи (*Alnus fruticosa*). В последующие годы сомкнутость кустарников и лиственницы увеличивается, что ведет к угнетению, а потом и отмиранию большей части луговых видов. Поселяются кустарнички, развивается моховой покров, формируется торфянистый горизонт. Таким путем на месте луга возникает редкостойный лиственничный лес с подлеском из кустарников (ив и ольхи). В травяно-кустарничковом ярусе встречаются багульник, карликовая береза, голубика, брусника, хвощ (*Equisetum scirpoides*), валериана (*Valeriana capitata*), нарциссия, княженика, мятлик, арктагrostис, грушанка (*Pirola incarnata*), роза (*Rosa acicularis*). В сплошном напочвенном покрове высотой 4—6 см преобладают мхи (*Ptilidium ciliare*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium proliferum*, *Aulacomnium turgidum*, *Sphagnum girgensohnii*), часто встречаются *Climacium dendroides*, *Aulacomnium palustre*, *Sphagnum angustifolium*, *Peltigera aphthosa*.

По мере зарастания обнаженных склонов наблюдается неуклонное понижение температуры, уменьшение глубины протаивания почвы (табл. 63) и повышение верхней поверхности вечной мерзлоты.

Глубина протаивания почвы на конечной стадии зарастания (под редкостойными лесами) на 45—80 см меньше, чем на обнаженных склонах. Совершенно очевидно, что растительный покров при этом предохраняет вечномерзлые породы от протаивания и, что особенно важно, от эрозии, ибо эрозия в сочетании с термокарстом является главнейшей причиной разрушения склонов, образования оврагов, заболоченных понижений (аласов). В некоторых условиях (на увлажненных участках склонов) развивается настолько значительный торфяно-моховой покров, что минераль-

Таблица 63
Глубина протаивания суглинистой почвы на склонах увалов в низовьях р. Яны около пос. Казанье

Растительность	Экспозиция склона	Сомкнутость		Покров		Мощность, см		Температура почвы на глубине 15 см 26 августа 1952 г.	Глубина протаивания почвы (см) в начале сентября 1952 г.
		крон	полога кустарников	трав и кустарничков	мохов	напочвенного покрова	торфянистого горизонта		
Нет	южная	—	—	—	—	—	—	15,5	110—130
Луг	»	—	—	50—90	—	—	—	11,0	80—110
Редкостойные лиственничные леса	»	0,3—0,5	0,3—0,6	20—30	100	5—6	нет	8,3	60—70
То же	северная	0,3—0,4	0,3—0,5	10—30	100	5—6	нет	4,8	45—55
То же	»	0,3	0,2—0,4	10—30	100	5—6	5—15	—	20—40

ные слои почвы не протаивают в течение лета, и в этих местах совершенно исключается солифлюкция.

Таким образом, развитие растительности в сибирской лесотундре является существенным фактором, определяющим понижение температуры в течение теплого периода года и уменьшение глубины протаивания почвы. В результате развития растительного покрова на месте водоемов формируются вечномерзлые торфяники. Растительный покров в процессе развития способствует сокращению территории, занятой несквозными таликами (под озерами и другими водоемами), и формированию вечной мерзлоты на таликах. Растительность замедляет или совершенно исключает эрозионные, солифлюкционные и термокарстовые процессы.

ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ТАЙГЕ

В тайге исследования проводились в различных районах: на севере Западной Сибири, в пределах Енисейского края, на правобережье р. Вилюй, на Алданском плоскогорье и в долине р. Селенджик. Эти районы существенно различаются мерзлотно-грунтовыми условиями.

Северная тайга Западной Сибири

В этом районе динамика растительного покрова изучена более подробно, чем в других. Здесь проводились исследования в окрестностях г. Игарки, в долине р. Хантайки, в бассейне р. Ярудей, в низовье р. Надым. В окрестностях г. Игарки систематические наблюдения проводились в течение пяти лет. Исследованиями охвачены долины рек и междуречья. В разделе рассматриваются только главные особенности динамики растительного покрова в поймах рек и на междуречьях и древних террасах.

Поймы рек в пределах северной тайги характеризуются большими различиями режима паводков. Для пойм рек Енисея и Оби характерно обильное отложение наилка и очень сильный ледоход. Ежегодное отложение наилка препятствует развитию мхов. Движущийся лед, заполняющий почти всю пойму, и продолжительные паводки мешают развитию деревьев, поэтому большая часть пойм этих рек безлесна. Леса обычно развиваются лишь на участках, переходных от поймы к надпойме, редко и непродолжительно заливаемых и защищенных от ледохода. Вечная мерзлота в поймах рек Енисея и Оби на большей части территории не формируется.

Поймы малых (Ярудей) и средних (Надым, Таз и другие) рек в северной тайге характеризуются слабым отложением наилка и непродолжительным заливанием на участках высокого уровня, занимающих большую площадь. Ледоход ограничивается в основном русловой частью, поэтому поймы этих рек покрыты лесами. Самые лучшие леса в северной тайге развиты именно в поймах рек, правда, площадь их невелика.

Динамика лесов в поймах рек рассматривается на примере наблюдений в пойме р. Ярудей (левый приток р. Надым).

На высоких уровнях центральной поймы изменение условий обитания растений происходит преимущественно под влиянием жизнедеятельности растительности и ведет к смене растительных сообществ. Смена растительных сообществ отражается на ходе протаивания и промерзания грунтов.

Развитие лесов в пойме начинается на участках высокого уровня и включает три стадии.

1. Березовые леса с травяным покровом развиваются на значительных пространствах центральной поймы. Древостой состоит из стройных высоких (до 20 м) берез (*Betula pubescens*) с примесью лиственниц, сомкнутость крон 0,7—0,9. В подлеске встречаются рябина (*Sorbus sibirica*), ольха (*Alnus fruticosa*), смородина (*Ribes hispidulum*), роза (*Rosa acicularis*), сомкнутость полога подлеска 0,1—0,3. В подросте ель (рис. 8). В травянистом ярусе преобладает вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*), обильны грушанка (*Pirola incarnata*), мятлик (*Poa pratensis*), княженика (*Rubus arcticus*), линнея (*Linnaea borealis*), седмичник (*Trientalis europaea*), золотая розга (*Solidago virga aurea*), чемерица (*Veratrum lobelianum*). Моховой покров развит слабо, кое-где встречаются отдельные куртинки кукушкина льна (*Polytrichum commune*). Вечная мерзлота на таких участках не формируется, так как промерзшие слои почвы протаивают летом полностью.

2. Березовые или смешанные леса с покровом из кукушкина льна. По мере накопления наилка уровень поверхности поймы повышается, она заливается все реже и на более короткое время, отложение наилка почти прекращается. В результате усиливается развитие мхов, накапливается подстилка. Моховой покров затрудняет прогревание почвы, что ускоряет формирование торфянистого горизонта. Накопление влагоемкого торфянистого слоя ведет к понижению температуры почвы летом, к замедлению протаивания ее. Промерзшие слои почвы под торфянисто-моховым слоем летом не протаивают полностью, формируются перелетки. В последующие годы слои почвы над перелетками промерзают в течение части зимы, а затем промерзают грунты ниже перелетков, образуется вечная мерзлота.

Лиственница и ель постепенно перерастают березу и березовые леса сменяются березово-лиственничными, березово-елово-лиственничными (рис. 9) или березово-еловыми лесами.

Сплошной моховой покров и сопутствующая ему вечная мерзлота формируются в лесах любого состава. Обычно на слабодренированных участках мхи развиваются быстрее, чем на сильнодренированных, поэтому на первых сплошной моховой покров формируется нередко еще под пологом березняков.

В подлеске встречаются все виды, характерные для первой стадии. В травяно-кустарничковом ярусе обильны морошка, княженика, редко багульник, голубика, брусника, вейник, линнея.

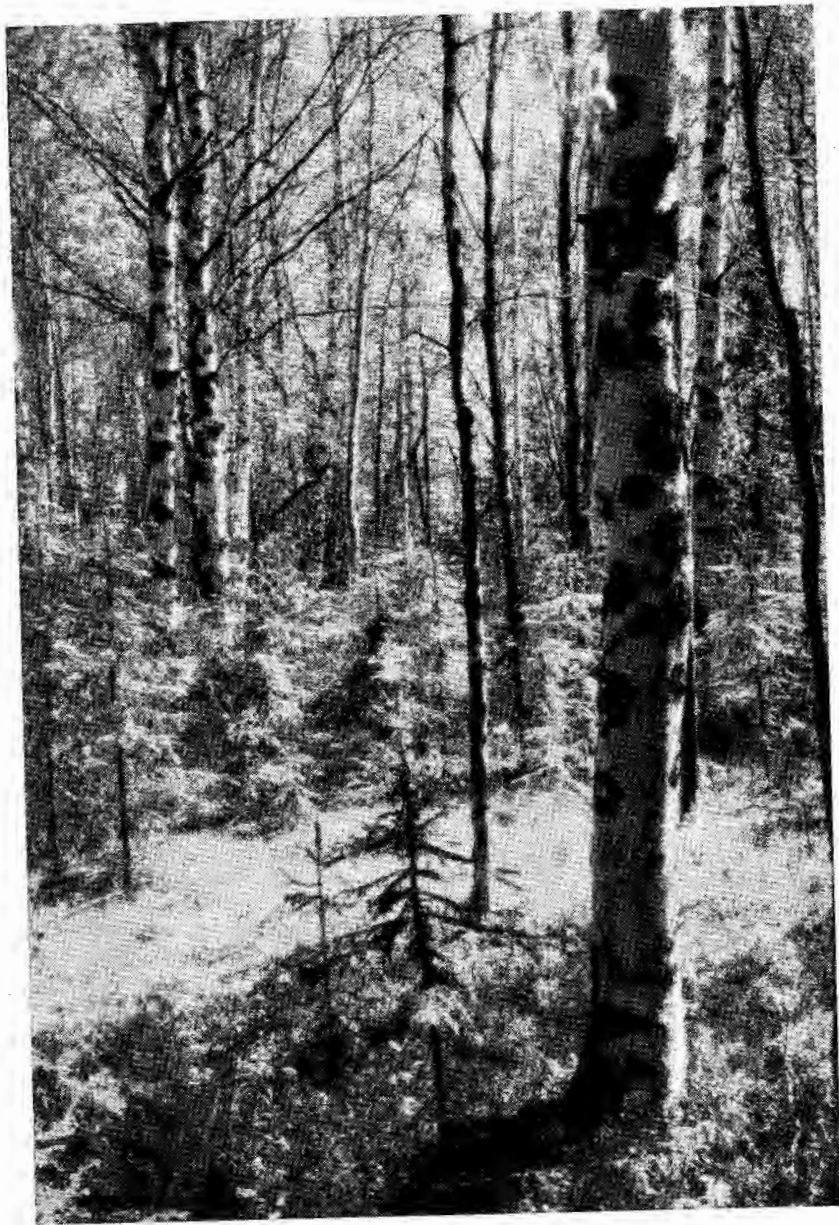


Рис. 8. Березняк с подростом ели на немерзлых грунтах в пойме р. Ярудея



Рис. 9. Заболоченный лиственнично-еловый лес с отмирающими крупными деревьями на почвах, подстилаемых вечной мерзлотой на глубине 50—80 см в пойме р. Ярудея

В моховом покрове господствует кукушкин лен, обильны *Sphagnum angustifolium*, *Sph. girgensohnii*.

Под такими лесами мощность вечной мерзлоты обычно не превышает 10 м, температура ее близка к 0° (табл. 64).

Таблица 64

Изменение глубины протаивания и температуры песчаных грунтов в процессе развития лесов в пойме р. Ярудей

Стадии развития лесов	Толщина, см		Глубина протаивания, см	Температура на глубине 2—8 м, °С	Мощность вечной мерзлоты, м
	мха	торфянистого слоя			
Березовые леса с травяным покровом	нет	нет	сезонно-мерзлый слой протаивает	выше 0°	нет
Березовые или смешанные леса с покровом из кукушкина льна	8—15	10—20	0,5—0,8	—0,1—0,2	меньше 10
Заболоченные (сфагновые) редкостойные смешанные леса	8—15	30—40	0,3—0,6	—0,1—0,3	больше 10

3. Редкостойные заболоченные леса с покровом из сфагнов (рис. 10). Образование вечной мерзлоты существенно изменяет почвенные условия. Водонепроницаемый слой мерзлоты задерживает просачивающуюся влагу, поэтому нижние горизонты почвы переувлажняются, из них полностью вытесняется воздух. В этих слоях начинается анаэробный процесс раскисления окислов железа и других металлов, окиси превращаются в закиси, окрашивающие почву в голубоватые или синеватые тона, формируется глеевый горизонт. В процессе промерзания переувлажненных горизонтов почвы образуется много льда, поэтому глубина протаивания уменьшается, температура почвы понижается, нижние слои ее становятся вечномерзлыми.

По мере повышения уровня вечной мерзлоты увлажнение верхних слоев почвы увеличивается, это создает благоприятные условия для развития сфагновых мхов.

Корни деревьев не могут развиваться в переувлажненных слоях и отмирают, поэтому питательные вещества этих слоев не используются деревьями. В результате ухудшения почвенных условий рост деревьев замедляется, часть их отмирает, лес изреживается. Образуются редкостойные заболоченные леса.

Преобладают березы или лиственницы, примесь ели незначительна, высота их не превышает 15 м.

В травяно-кустарничковом ярусе преобладает морошка, часто встречаются голубика, болотный мирт (*Chamaedaphne calyculata*), багульник (*Ledum palustre*), карликовая береза, вейник, редко брусника, княженика, линнея. В сплошном напочвенном покрове доминируют сфагновые мхи (*Sphagnum angustifolium*); местами обильны кукушкин лен, часто встречается *Pleurozium schreberi*.

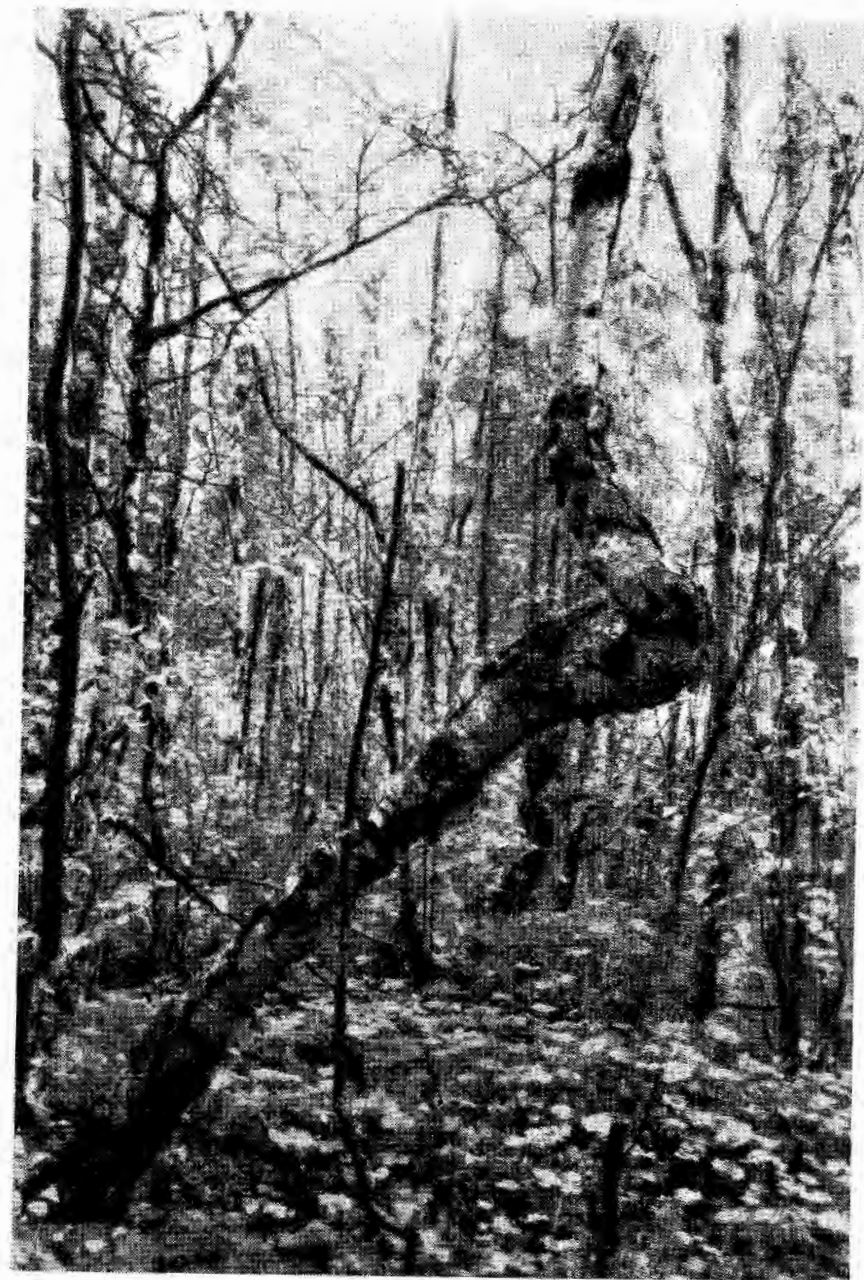


Рис. 10. Угнетенный заболоченный редкостойный лес на почвах, протаивающих на 35—50 см, в пойме р. Ярудей

Почва под заболоченными угнетенными лесами характеризуется значительной заторфованностью (мощность торфяного горизонта 30—40 см), протаивает на 30—50 см. Температура вечномерзлых грунтов достигает $-0,3^{\circ}$, а мощность превышает 10 м (см. табл. 64).

Развитие растительности в поймах рек сопровождается формированием мохового покрова, накоплением торфа и образованием вечной мерзлоты на месте таликов.

Древние террасы и междуречья в северной тайге заболочены. Болота и торфяники и заболоченные леса занимают до 80—90% площади междуречий. Болота и торфяники формируются за счет заболачивания водоемов и суши.

Заболачивание водоемов наблюдается на значительной части территории этого района, очень богатого озерами.

Под любыми водоемами в пределах северной тайги Западной Сибири залегают талые грунты. Развитие растительности в водоемах вначале не влияет существенно на промерзание и протаивание грунтов.

Выделяются следующие стадии заболачивания водоемов.

1. Вахтовые, вахтово-сфагновые болота образуют первый пояс (полосу) заболачивания, граничащий с свободной водной поверхностью. На сплошном рыхлом сфагновом ковре, полностью погруженном в воду, растет почти только вахта (*Menyanthes trifoliata*); образующая редкие заросли. Из сфагнов преобладают *Sphagnum squarrosum*, *Sph. lindbergii*.

2. Пушицево-сфагновые болота сменяют вахтово-сфагновые по мере накопления торфа. Чаще всего преобладают *Eriophorum angustifolium*, *E. russeolum* на ковре, состоящем из тех же видов.

3. Осоково-сфагновые болота сменяются пушицево-сфагновыми. Они характеризуются редким травостоем, состоящем в основном из *Carex rotundata*, *C. limosa*, в моховом покрове преобладают *Sphagnum lindbergii*, *Sph. balticum*, *Sph. warnstorffianum*.

Характерной особенностью этих болот является наличие воды на поверхности и ежегодное протаивание сезонномерзлого слоя в течение части лета. Вечная мерзлота под такими болотами не образуется.

4. Кустарничково-сфагновые болота. В результате накопления торфа и повышения поверхности болота создаются благоприятные условия для развития кустарничков, которые постепенно вытесняют осоки. Эти болота не покрываются водой.

В травяно-кустарничковом ярусе их преобладают карликовая береза, болотный мирт, андромеда, голубика, обильны клюква, морошка, ива (*Salix myrtilloides*), водяника, часто встречаются осоки (*Carex limosa*, *C. rotundata*). В сплошном моховом покрове доминируют *Sphagnum angustifolium*, *Sph. warnstorffianum*.

Участки кустарничково-сфагновых болот возвышаются на 30—50 см над соседними болотами с водой на поверхности. Приток тепла в почву под кустарничково-сфагновыми болотами уменьшается по сравнению с участками болот, покрытых водой (см. гл. II). В результате уменьшения притока тепла протаивание почвы под кустарничково-сфагновыми болотами замедляется, и промерзшие слои ее не протаивают полностью, образуются перелетки. Особенно интенсивно формируются перелетки после малоснежных зим, когда почва промерзает на 100 см и глубже. Глубина протаивания почвы под кустарничково-сфагновыми болотами обычно не более 50 см. При формировании перелетков поверхность болот повышается за счет расширения замерзающей в почве влаги. В последующие зимы не только полностью промерзают оттаивающие слои почвы над перелетками, но и талые грунты под ними. Так, под кустарничково-сфагновыми болотами формируется вечная мерзлота.

Формирование вечной мерзлоты в данном случае является неизбежным следствием коренного изменения соотношения между промерзанием и протаиванием грунтов, обусловленным развитием растительности.

5. Сфагновые болота. В результате формирования вечной мерзлоты под кустарничково-сфагновыми болотами изменяется режим питания растений, питание их происходит в основном за счет атмосферных осадков.

Обеднение почвы приводит к замедлению роста и изреживанию кустарничков. Кустарничково-сфагновые болота сменяются сфагновыми. В травяно-кустарничковом ярусе господствует морошка, в угнетенном состоянии встречаются карликовая береза, болотный мирт, багульник, водяника, брусника, голубика, очень обильна клюква, иногда осока (*Carex globularis*). В сплошном и плотном напочвенном покрове доминирует *Sphagnum fuscum*, часто встречаются *Sph. acutifolium*, *Sph. angustifolium*.

Редкий кустарничковый ярус на таких болотах не задерживает снег, который легко сносится. В результате сноса снега усиливается промерзание (охлаждение) грунтов, ускоряется формирование вечной мерзлоты. Поверхность сфагновых болот возвышается на 60—100 см над уровнем водоемов.

6. Лишайниково-сфагновые болота. Нарастание сфагновых мхов на таких болотах происходит неравномерно, образуются повышенные и пониженные участки. На повышениях поселяются лишайники и накопление торфа замедляется по сравнению с понижениями. Постепенно пониженные участки возвышаются над бывшими повышениями, покрытыми лишайниками. Скапливающаяся в новых понижениях влага способствует развитию мхов, и лишайники вытесняются ими, в то время как на повышениях мхи вытесняются лишайниками. Вследствие усиления разложения торфа на повышениях несколько улучшаются питательные качества почв, и кустарнички растут лучше, чем на сфагновом болоте. В тра-

Изменение глубины протаявания, температуры грунтов и мощности вечной мерзлоты в процессе зарастания водоемов в низовье р. Надым

Стадии зарастания водоемов	Грунты	Глубина протаявания, см	Температура грунтов, °С на глубине, м										Мощность мерзлого грунта, м	нет
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Все болота с водой на поверхности	илватые пески, супеси, суглинки, торф	промерзший слой протаявает полностью	60	—0,1—0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	около 1	
Кустарничково-сфагновое болото (преобладает <i>Sphagnum angustifolium</i>) без воды на поверхности	торф сфагновый, почти не разложившийся—0—45 см, песок—90—90 см, суглинок легкий—340—400 см, суглинок тяжелый—400—800 см	40	—	—	—	—	—0,1	—	—	—	—	—	5,2	
Сфагновое болото (преобладает <i>Sphagnum fuscum</i>)	торф сфагновый, почти не разложившийся—0—60 см, песок—60—270 см, суглинок легкий—270—700 см	40	—0,6—0,7	—0,8—1,0	—1,1—1,1	—1,1—1,1	—1,1—1,1	—1,1—1,1	—1,1—1,1	—	—	—	больше 10	
Лишайниково-сфагновое болото	торф сфагновый, почти не разложившийся—0—93 см, песок с линзами легкого суглинка на глубине 360—347 см—93—800 см	50	—0,6—1,7	—2,2—2,4	—2,5—2,5	—2,4—2,4	—2,4—2,4	—2,3—2,3	—2,3—2,3	—2,3—2,3	—2,3—2,3	—2,2—2,2	больше 15	
Багульниково-лишайниковое болото	торф, хорошо разложившийся—0—80 см, торф средне-разложившийся—80—550 см, суглинок—550—590 см, песок—590—1000 см													

вяно-кустарничковом ярусе преобладают багульник, голубика (на повышениях), морошка и клюква (в понижениях), обильно встречаются осока, карликовая береза, водяника и иногда брусника. В сплошном напочвенном покрове доминируют: на повышениях — лишайники (*Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*), в понижениях — мхи (*Sphagnum fuscum*, *Sph. acutifolium*), часто встречаются *Cetraria islandica*, *C. cucullata*.

Растительные сообщества расположены полосами (поясами) на низких берегах водоемов в отмеченной последовательности. Эта пространственная последовательность, очевидно, отражает динамику растительности во времени. Отмеченные растительные сообщества перемещаются по направлению к наиболее глубоким участкам водоемов.

7. Багульниково-лишайниковые болота. Дальнейшее повышение уровня поверхности торфяника (за счет накопления торфа и пучения грунтов при промерзании) способствует усилению дренажа, существование сфагновых мхов становится невозможным и они полностью вытесняются лишайниками. Наступает заключительная стадия развития растительности. В травяно-кустарничковом ярусе господствует багульник, часто встречаются брусника, морошка, редко — голубика, водяника, карликовая береза. В сплошном напочвенном покрове доминирует *Cladonia alpestris*, часто встречаются *Cladonia rangiferina*, *C. amaurocraea*, *C. cornuta*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*.

Таким путем на месте водоемов формируются вечномерзлые торфяники, при этом по мере повышения поверхности их над водоемами мощность снега на них уменьшается, усиливается промерзание и охлаждение грунтов (табл. 66).

Заболачивание суши. В северной тайге Западной Сибири процесс заболачивания суши почти закончен. Отдельные этапы этого процесса возможно наблюдать лишь потому, что периодически возникают новые незаболоченные участки суши, которые заболачиваются. Такие участки обычно возникают после пожаров лесов (рис. 11) и торфяников, уничтожающих полностью торф.

В зависимости от состава грунтов и дренажа восстановление растительности после пожара происходит по-разному.

На достаточно дренированных участках¹, сложенных суглинками, наблюдаются следующие стадии восстановления растительного покрова.

4. Березовые леса с подростом лиственницы, ели и кедра. Глубина протаявания суглинков перекрытых торфянисто-моховым слоем колеблется в зависимости от толщины этого слоя от 30 до 100 см. После выгорания торфяно-мохового слоя глубина протаявания суглинков значительно увеличивается, составляя в среднем 140—150 см. Так как средняя глубина промерзания суглинистых

¹ Достаточно дренированными участками условно называют такие, на которых уровень грунтовых вод после оттаивания сезонномерзлого слоя находится ниже 1 м.



Рис. 11. Ветровал кедр после низового пожара в районе р. Игарки

Таблица 66

Изменение протаивания почв и температуры грунтов в процессе восстановления и заболачивания лесов в зависимости от состава грунтов и дренажа

Грунты	Дренаж	Стадии восстановления и заболачивания	Возраст* деревьев	Сомкну- тость крон	Высота мхов, лишайников, см	Толщина торфяни- стого слоя, см	Глубина протанива- ния почвы, см	Среднего- довая тем- пература грунтов на глубине 3—5 м
Суглинки	достаточный	березняки травяные с подростом хвойных	100	0,6—0,8	нет	нет	сезонно- мерзлый слой про- таивает	+0,1— +0,2
		смешанные леса-зеленомошники	140—180	0,6—0,8	5—7	5—10	70—90	—0,1— —0,2
		редкостойные заболоченные леса	200—250	0,3—0,4	5—10	20—30	40—70	—0,1— —0,3
		редколесья на сфагновых болотах	300	0,1—0,2	5—10	50—60	30—60	—0,2— —0,5
		сфагновые болота	—	—	5—8	больше 60	30—60	—0,5— —1,5
		багульниково-лишайниковые болота (торфяники)	—	—	5—10	больше 60	30—60	—1,0— —2,0
Пески, суглинки	слабый	березняки травяные с подростом хвойных	20—30	0,5—0,7	нет	нет	сезонно- мерзлый слой про- таивает	+0,1— +0,2
		березняки долгомошники с подростом хвойных	40—60	0,4—0,6	8—15	5—10	70—90	—0,1— —0,2
		редкостойные заболоченные (сфагновые) березовые или	100—120	0,3—0,4	5—10	20—30	40—70	—0,1— —0,3
		смешанные леса	150—200	0,1—0,2	5—10	50—60	30—60	—0,2— —0,5
		редколесья на сфагновых болотах	—	—	5	больше 60	30—60	—0,5— —1,5
		олиготрофные сфагновые болота	—	—	5	больше 60	30—60	—1,0— —2,0
		багульниково-лишайниковые болота (торфяники)	—	—	5	больше 60	30—60	—1,0— —2,0

* В редколесьях указан возраст наиболее старых деревьев, в остальных типах—господствующих, соответствует времени, прошедшему после пожара.

почв равна около 100 см, т. е. значительно меньше средней глубины протаивания, то уже в первые годы после пожара в тайге, на участках, где выгорел торфяно-моховой слой, начинают формироваться талики. Правда, в результате выгорания деревьев и кустарников ветер сильнее сдувает снег с горизонтальных участков и повышенных мест, а также и со склонов южной и восточной экспозиций. Мощность снега на этих участках уменьшается по сравнению с залесенными участками. Однако сплошные заросли кипрея (*Chamaenerion angustifolium*), развивающиеся на гарях в первые годы после пожара, а затем травостой из вейника (*Calamagrostis Langsdorffii*) и подрост березы, лиственницы, ели, кедра, ольхи задерживают перевывание снега и тем замедляют промерзание почвы.

Эта растительность мало препятствует прогреванию почвы, особенно ранним летом, когда еще не распустились (или неполностью распустились) листья березы, а травостой еще редкий и невысокий. Промерзшие слои почвы протаивают полностью в течение некоторой части теплого сезона, а за счет поступления тепла в почву в остальное время происходит постепенное протаивание вечной мерзлоты. Мощность таликов увеличивается. Увеличение протаивания вечной мерзлоты наблюдается под пологом развивающегося березового леса. Под 60—80-летним березняком верхняя поверхность вечной мерзлоты залегает на глубине 3—6 м.

Под сомкнутыми березняками травы и кустарнички редки, обычно встречаются вейник, хвощи (*Equisetum sylvaticum*, *E. pratense*), линнея (*Linnaea borealis*), княженика (*Rubus arcticus*), голубика, брусника.

2. Смешанные леса. Почва в сомкнутых березняках ежегодно покрывается слоем листьев, препятствующим развитию мхов. В возрасте около 100 лет береза замедляет рост и хвойные перерастают березу. Под пологом хвойных старые березы постепенно отмирают, опад листьев уменьшается, развиваются мхи, покрывающие почву сплошным слоем. Так образуются смешанные леса с покровом из зеленых мхов.

В первом ярусе высотой 15—25 м преобладают лиственницы, реже — ели или кедры, примесь ели встречается почти везде, кедр в северной части встречается редко. Второй — образован березами, высотой 8—15 м. В подлеске обычно ольха.

В редком травяно-кустарничковом ярусе: голубика, брусника, багульник, осока (*Carex globularis*), вейник, линнея, хвощи, княженика, сердечник (*Cardamine macrophylla*), камнеломка (*Saxifraga punctata*).

В моховом покрове господствуют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, встречаются *Ptilium crista-castrensis*, *Polytrichum commune*.

По мере развития мохового покрова и накопления торфянистого слоя протаивание почвы замедляется, сезонномерзлый слой почвы не протаивает полностью в течение лета, образуются пере-

летки. В последующие годы формируется вечная мерзлота. Вновь образовавшийся слой вечной мерзлоты вначале отделен от древней грунтовыми, которые протаяли в течение первой стадии. Постепенно они промерзают и новый слой вечной мерзлоты смыкается с древней.

3. Редкостойные заболоченные леса. Образование вечномерзлого слоя на глубине, не превышающей 80—90 см, приводит к существенным изменениям почвы. В первую очередь увеличивается влажность надмерзлотных горизонтов. Увеличение влажности влечет дальнейшее понижение температуры почвы, так как при замерзании переувлажненных слоев образуется много льда, оттаивание которого потребляет очень много тепла. Глубина протаивания почвы постепенно уменьшается, а уровень вечной мерзлоты повышается за счет промерзания нижних слоев почвы. Одновременно усиливается увлажнение верхних слоев почвы по мере накопления влагоемкого торфянистого слоя и поднятия уровня вечной мерзлоты.

В переувлажненном надмерзлотном слое корни деревьев не могут развиваться и отмирают, поэтому питательные вещества нижних слоев почвы не используются деревьями. В то же время питательные вещества накапливаются в торфянистом горизонте в недоступном для корней состоянии и также исключаются из круговорота. Прогрессирующее обеднение почвы элементами питания растений, переувлажнение, понижение температуры, ухудшение аэрации угнетает жизнедеятельность корней. В результате рост деревьев ухудшается, некоторые деревья гибнут, лес становится реже.

Увлажнение верхних горизонтов почвы создает условия для поселения и развития сфагновых мхов, которые постепенно вытесняют зеленые мхи. Леса-зеленомошники трансформируются в заболоченные редкостойные леса.

Древостой высотой 5—15 м (рис. 12) образован теми же породами в самых разнообразных соотношениях. Стволы их сильно сбежистые, кроны редкие, на ветвях обилие лишайников.

В травяно-кустарничковом ярусе обильны багульник, голубика, черника, брусника, морошка, осока (*Carex globularis*).

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum angustifolium*, *Sph. girgensohnii*, обильны *Polytrichum commune*, *Pleurozium schreberi*.

4. Редколесья на сфагновых болотах. Под сфагновыми мхами накопление торфа усиливается, а протаивание уменьшается. Под слоем торфа толщиной 25—30 см минеральные горизонты, протаивающие только в самом конце лета всего на 10—20 см, становятся совершенно недоступны для корней деревьев. Корни деревьев вынуждены развиваться в торфяном слое, очень бедном питательными веществами. В результате многие из них отмирают и это влечет за собой гибель деревьев, лес еще более изреживается. Так образуются редколесья, в которых отмирающий древостой занимает не более 10% площади.

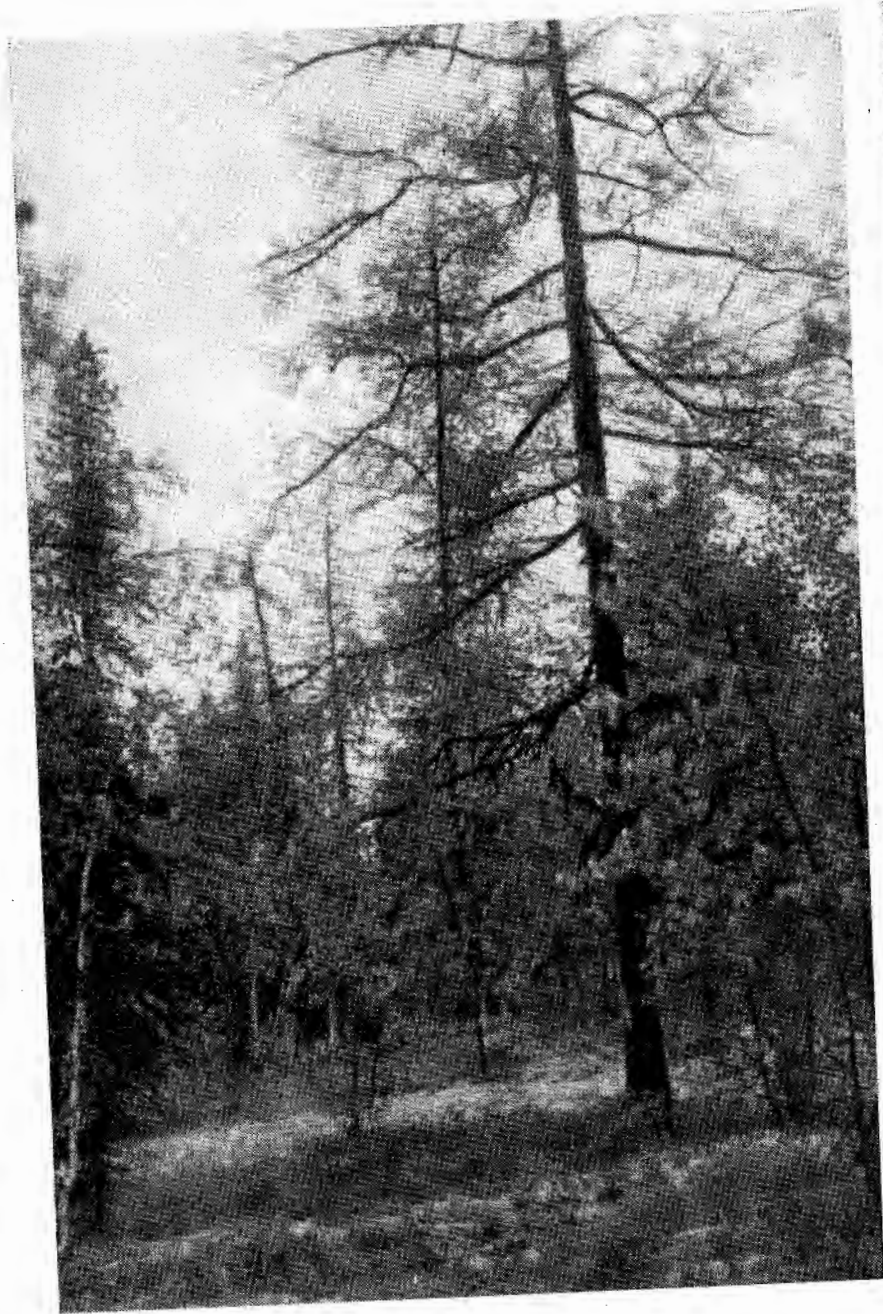


Рис. 12 Редкостойный лиственный лес на почвах, протаивающих на 40—70 см в районе Игарки

В травяно-кустарничковом ярусе обильны карликовая береза, болотный мирт, багульник, морошка, голубика, брусника, осока, клюква (*Oxycoccus microcarpus*), водяника (*Empetrum nigrum*).

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum angustifolium*, *Sph. fuscum*, *Sph. acutifolium*.

Древостой редколесий мало ослабляет скорость ветра, поэтому часть снега из них сносится в леса и понижения, и грунты более охлаждены, чем в лесах (см. табл. 66).

5. Сфагновые болота формируются на месте редколесий в результате дальнейшего нарастания мхов, которое влечет не только обеднение почвы, понижение температуры и т. п., но и погребение корней. Правда, по мере погребения корней и их отмирания на стволах формируются придаточные корни, но они растут недостаточно быстро и также отмирают. Деревья гибнут, кустарнички изреживаются и редколесье превращается в сфагновое болото.

На сплошном ковре, состоящем в основном из *Sphagnum fuscum* (встречаются *Sph. acutifolium*, *Sph. angustifolium*, *Cladonia rangiferina*, *C. sylvatica*, *C. alpestris*), преобладает морошка, очень обильна клюква; кустарнички, характерные для редколесья, очень угнетены (высота их обычно не более 10 см).

С поверхности таких болот легко сносится снег, поэтому грунты сильнее охлаждены, чем под редколесьями (см. табл. 66).

6. Багульниково-лишайниковые болота сменяют сфагновые болота по мере вытеснения мхов лишайниками так же, как это наблюдалось на завершающем этапе заболачивания водоемов.

В травяно-кустарничковом ярусе доминирует багульник, встречаются морошка, брусника, голубика, карликовая береза, водяника, клюква, осока.

В сплошном напочвенном покрове преобладают лишайники: *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*, *C. sylvatica*, встречаются *C. amaurocraea*, *C. cornuta*, *C. gracilis*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*.

Заболачивание лесов заканчивается той же заключительной стадией, что и заболачивание водоемов (табл. 65, 66).

Восстановление растительного покрова после пожара вначале (первая стадия) способствует протаиванию вечной мерзлоты и образованию таликов, затем, в результате развития мхов, талики промерзают. Образовавшаяся вечная мерзлота и накопление торфа способствуют заболачиванию почвы, смене лесов болотами.

Таким образом, достаточно дренированные участки, сложенные суглинками, неизбежно заболачиваются.

Слабодренированные участки, сложенные любыми грунтами, также заболачиваются и на них формируются вечномерзлые торфяники. Процесс заболачивания их в сущности сходен с тем, который рассмотрен на суглинистых грунтах, и заканчивается теми же заключительными стадиями. Однако вследствие более быстрого раз-

вития мхов и накопления торфа заболачивание протекает быстрее, чем на дренированных участках. Сплошной моховой покров развивается обычно через несколько десятков лет после пожара под пологом березняков, редкий древостой которых не продуцирует достаточно обильного опада листьев, препятствующего росту мхов. В таких березняках развивается кукушкин лен, более энергичный торфообразователь, чем зеленые мхи. Первый этап, в течение которого протаивает вечная мерзлота, на таких участках укорочен по сравнению с дренированными (см. табл. 66).

Достаточно дренированные участки, сложенные песками, галькой, гравием, не заболачиваются, ибо на них не развивается сплошной моховой покров и не накапливается значительный торфянистый слой. Мхи не развиваются вследствие сильной сухости верхних слоев почвы. Сезонномерзлый слой почвы на таких участках ежегодно протаивает полностью, и вечная мерзлота не образуется.

На сухих песчаных почвах обычно растут редкостойные леса с покровом из лишайников.

Уничтожение растительного покрова существенно изменяет промерзание и протаивание грунтов. После выгорания растительного покрова и торфа протаивание в течение многих десятков лет обладает над промерзанием, образуются талики. То состояние вечной мерзлоты, которое было до уничтожения растительности, восстанавливается нередко только через много сотен лет.

* * *

В северной тайге Западной Сибири динамика растительного покрова — ведущий фактор развития вечной мерзлоты.

Вечная мерзлота формируется на месте таликов вследствие развития специфического растительного покрова, изменяющего теплообмен в грунте так, что приток тепла становится меньше теплоотдачи, т. е. промерзание начинает превалировать над протаиванием.

Возникновение вечной мерзлоты на месте таликов всюду соответствует определенной стадии развития растительного покрова, а именно формированию лесов со сплошным покровом мхов — на незаторфованных участках суши, кустарничково-сфагновых болот — в процессе зарастания водоемов.

Вечная мерзлота не образуется на тех участках, где не развивается сплошной покров мхов и не накапливается торф.

Вновь образовавшаяся вечная мерзлота воздействует на дальнейшую динамику растительного покрова, способствуя заболачиванию лесов и смене их безлесными болотами.

Образование вечной мерзлоты на месте таликов в процессе заболачивания водоемов и суши — характерная особенность северной тайги Западной Сибири.

Заболачивание водоемов и суши завершается всюду формированием вечноммерзлых торфяников, характеризующихся самой низкой температурой грунтов и одинаковой растительностью.

После уничтожения мохового покрова и торфа начинается деградация вечной мерзлоты (образование таликов). Восстановление растительного покрова влечет восстановление вечной мерзлоты (промерзание таликов).

Кустарничково-лишайниковые, сфагновые, кустарничково-сфагновые болота без воды на поверхности являются показателями вечноммерзлого торфа, залегающего на глубине 30—60 см.

Температура мерзлых грунтов сфагновых и кустарничково-сфагновых болот выше, чем торфяников, покрытых лишайниками.

Температура грунтов залесенных участков близка к 0°, глубина протаивания не превышает 100 см.

Грунты безлесных торфяников наиболее сильно охлаждаются вследствие сноса снега. Грунты залесенных участков слабо охлаждаются вследствие наличия высокого и рыхлого снежного покрова (Константинова, 1961).

Заболоченные леса и редколесья с покровом из сфагновых мхов распространены на грунтах, перекрытых торфом, протаивающих не глубже 70 см, температура их ниже, чем под незаболоченными лесами.

Торфяники с однообразным покровом из лишайников и кустарничков, сфагновые, кустарничково-сфагновые болота, заболоченные леса и редколесья, а также леса с покровом из кукушкина льна распространены на суглинках, супесях и песках.

Индикация состава грунтов, подстилающих торфяники, по их растительному покрову является сложной и неразработанной проблемой.

Болота с водой на поверхности — индикаторы таликов.

Вечная мерзлота в северной тайге Западной Сибири очень неустойчива и легко изменяется под влиянием изменения природных условий.

Динамика вечной мерзлоты этого района определяется двумя противоположными процессами: увеличением ее площади за счет промерзания таликов в процессе развития растительного покрова и сокращением — за счет формирования таликов в результате уничтожения растительного покрова.

С усилением освоения территории, влекущем уничтожение или нарушение растительного покрова (вырубка лесов, пожары и т. п.), площадь вечной мерзлоты будет сокращаться.

Енисейский край

В пределах Енисейского края изолированные острова вечной мерзлоты распространены на тех участках террас, пологих склонов гор, перевалов, которые сложены сверху рыхлыми отложениями (суглинками, супесями, песками). Эти участки характеризуют

ся специфическим растительным покровом, динамика которого рассматривается в условиях поймы и древней террасы.

В поймах рек выделены три стадии, различающиеся мерзлотно-грунтовыми условиями, которые анализируются на примере экологического профиля в пойме р. Теи около устья р. Енашино.

1. Злаково-разнотравные луга занимают участки, на которых лес не развивается вследствие воздействия ледохода.

Преобладают злаки (разные виды на разных участках): овсяница (*Festuca pratensis*), мятлик (*Poa pratensis*), полевица (*Agrostis vulgaris*), пырей (*Agropyron mutabile*), щучка (*Deschampsia caespitosa*).

Под лугами нет вечной мерзлоты, а мерзлая почва протаивает полностью часто еще в июне (табл. 67).

2. Березово-еловые леса развиваются на месте лугов. В древостое преобладают ели, диаметры стволов которых 5—20 см, высота 6—15 м, встречается береза (*Betula pubescens*). Сомкнутость крон 0,6—0,9. В подлеске ольха (*Alnus fruticosa*), жимолость (*Lonicera altaica*), рябина (*Sorbus sibirica*), роза (*Rosa acicularis*). Сомкнутость полога подлеска 0,1. В редком (20—30%) кустарничково-травяном ярусе преобладают хвощ (*Equisetum pratense*), вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*), брусника, часто встречаются грушанки (*Pirola incarnata*, *P. dahurica*), мятлик (*Poa nemoralis*). В напочвенном покрове, занимающем около 80% почвы, доминирует *Hylocomium proliferum*, обилён *Pleurozium schreberi*.

Развитие мохового покрова и сомкнутого древесного яруса, состоящего в основном из ели, препятствует прогреванию почвы, протаивание ее уменьшается, в то время как промерзание, по-видимому, увеличивается, вследствие задержки снега на кронах елей. Постепенно, по мере развития елового древостоя и мохового покрова, наступает перевес промерзания над протаиванием, формируются перелетки, а впоследствии вечная мерзлота. Формирование вечной мерзлоты в процессе развития лесных насаждений с преобладанием ели в пойме р. Теи обусловлено исключительно влиянием лесной растительности на теплообмен между почвой и атмосферой. Это положение подтверждается уничтожением лесной растительности; после него вечная мерзлота протаивает полностью (см. табл. 67). Из таблицы видно, что состав грунтов под лугом и березово-еловым лесом одинаков. Различия между этими участками имеются только в растительном покрове, температурном режиме и состоянии грунтов. Следовательно, отмеченные различия можно объяснить лишь разным воздействием луговой и лесной растительности на теплообмен между почвой и атмосферой.

3. Заболоченные лиственничные редколесья. На высоких участках поймы отложение наилка прекращается, развиваются сфагновые мхи, увеличивается торфянистый слой.

Это приводит к изменению всего комплекса почвенных условий в неблагоприятном для развития деревьев направлении. В связи с ухудшением почвенных условий древостой сначала изреживает-

Таблица 67
Изменение глубины протаивания, температуры грунтов и мощности вечной мерзлоты в процессе развития растительности в пойме р. Теи

Стадия развития растительности	Грунты	Сомкнутость крон	Покровные трав, кустарничков, %	Мощность, см		Глубина протаивания (см) 26—28 июня 1960	Температура грунтов (°C) на глубине (м) 26—28 июня 1960					Мощность мерзлого слоя, м
				мохового покрова	торфянистого горизонта		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
Злаково-разнотравный луг	тонкий иловатый песок до 15—80 см, ниже—песок с гравием и галькой, подстилаемый на глубине 120—180 см галькой	—	100	нет	нет	сезонно-мерзлый слой протаял	+8,8	—	+0,8	—	+0,4	нет
Березово-еловый лес	иловатый песок до 60—90 см, ниже—песок крупнозернистый с гравием и галькой, подстилаемый на глубине 150—200 см галькой	0,7—0,9	—	5—8	нет	30	—	—	—	—0,1	—	более 1,25
Заболоченное лиственничное редколесье	иловатый песок до 60—100 см, ниже—крупнозернистый песок с гравием и галькой, подстилаемый на глубине 100—200 см галькой	0,1—0,2	—	5—12	25—30	20	—0,3	—0,9	—	—1,5	—	7,0—10,0

ся, более требовательная к богатству почвы питательными веществами ель постепенно вытесняется лиственницей. В дальнейшем даже лиственница сильно угнетается, и на участках когда-то стройного елового леса возникают заболоченные лиственничные редколесья.

Сильно угнетенные лиственницы (диаметр 3—7 см, высота не более 6 м, обычно 3—5 м) образуют редкое (сомкнутость крон 0,2) насаждение, в составе древесного яруса которого встречаются кедр, ель, береза. Единично встречаются отмирающие крупные (диаметр до 60 см, высота 20—25 м) деревья. Подлесок обычно не развит. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют багульник (*Ledum palustre*), болотный мирт (*Chamaedaphne calyculata*), осока (*Carex globularis*); часто встречаются пушица (*Eriophorum vaginatum*), карликовая береза (*Betula nana*), клюква (*Oxycoccus quadripetalus*), ива (*Salix myrtilloides*), княженика, голубика, хвощ (*Equisetum palustre*), камнеломка (*Saxifraga hirculus*). Общее покрытие яруса 40—60%. В сплошном напочвенном покрове преобладают мхи: *Sphagnum angustifolium*, *Sph. fuscum*, *Sph. balticum*; часто встречаются *Sph. acutifolium*, *Sph. magellanicum*, *Aulacomnium palustre*.

Под моховым покровом залегает торфяной горизонт, мощностью до 30 см, очень медленно и неглубоко протаивающий. Неглубокое залегание вечной мерзлоты и сильно влагоемкий торфяной слой способствуют заболачиванию и развитию сфагнового покрова. При этом замедляется протаивание почв, понижается температура и увеличивается мощность вечной мерзлоты.

Формирование вечной мерзлоты в пойме Тен обусловлено развитием растительности. Это подтверждается не только сравнением растительности и состава отложений на различных участках поймы (см. табл. 67), но также и тем, что после уничтожения торфяного слоя почвы вечная мерзлота протаивает полностью обычно в первые 10 лет после уничтожения (пожара). Крупные (диаметр 50—60 см) отмирающие деревья в редколесьях также свидетельствуют о том, что раньше были лучшие почвенные условия. Следовательно, и смена растительных сообществ происходила в отмеченной последовательности.

Древние террасы на слабодренированных участках заболачиваются. Водоемы также зарастают и заболачиваются.

Заболачивание водоемов характеризуется следующей особенностью теплообмена. На первых стадиях заболачивания растительный покров слабо воздействует на промерзание и протаивание грунтов, ибо он развивается на затопленных участках. Сезонно-мерзлый грунт протаивает полностью нередко еще в июне, вечной мерзлоты нет.

В дальнейшем развитии болот наблюдается обычно две стадии.

1. Кустарничково-сфагновые болота. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает болотный мирт, карликовая береза, ива (*Salix myrtilloides*), часто встречаются осоки (*Carex*

globularis, *C. chordorrhiza*, *C. limosa*), водяника (*Empetrum nigrum*). В сплошном напочвенном покрове преобладают сфагновые мхи: *Sphagnum balticum*, *Sph. acutifolium*, часто встречаются *Sph. magellanicum*, *Sph. russowii*, *Aulacomnium palustre*, *Camphothecium trichoides*. Под такими болотами почва к концу лета протаивает на 50—70 см, при этом по мере повышения уровня болота, в результате накопления торфа и нарастания мхов, глубина протаивания уменьшается. Сезонно-мерзлый слой не протаивает в течение лета, начинают формироваться перелетки и маломощный вечно-мерзлый слой (табл. 68).

2. Редколесья на сфагновых болотах. На кустарничково-моховых болотах развивается подрост лиственницы, ели, кедра и березы. Накопление торфа приводит к ухудшению почвенных условий и угнетению древостоя, кустарничков и трав. Кустарничково-моховые болота сменяются редколесьем на сфагновом болоте. В редколесье преобладает лиственница, встречаются кедр, ель и береза, высота их не более 6 м, сомкнутость крон 0,1—0,2. Встречаются ивы (*Salix xerophila*, *S. jensseensis*). В травяно-кустарничковом ярусе обильны болотный мирт, багульник, голубика, осока (*Carex globularis*), пушица (*Eriophorum vaginatum*), встречаются карликовая береза, вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*). В сплошном напочвенном покрове доминирует *Sphagnum fuscum*, обильны *Sph. balticum*, *Sph. magellanicum*, *Sph. angustifolium*, *Cladonia rangiferina*, *Peltigera aphthosa*. Торфяная почва под таким редколесьем протаивает к концу лета на 30—50 см, мощность вечной мерзлоты больше, а температура ее ниже, чем на участках, занятых предшествующей стадией (см. табл. 68). Следовательно, в пределах Енисейского края в процессе зарастания водоемов изменяются условия промерзания и протаивания грунтов, формируется вечная мерзлота на месте таликов, мощность которой постепенно увеличивается, а температура понижается.

Заболачивание суши характеризуется на основании сравнения растительных сообществ, развивающихся после выгорания лесов. В процессе восстановления растительного покрова наблюдаются следующие стадии.

1. Березовые леса. После лесного пожара на участках, где уничтожены моховой покров и торфянистый горизонт, вечная мерзлота протаивает в течение нескольких лет. На днище древней долины р. Енашино (около пос. Суворовский), на участке, где лес сгорел в 1951—1952 гг., вечная мерзлота в 1960 г. не была обнаружена, в то время как на неповрежденных пожаром участках она залегала на глубине не более 1 м. На территории, где сгорел лес, через несколько десятков лет развиваются березовые леса.

В древесном ярусе кроме березы встречается лиственница, в подросте — обилие ели, иногда кедр. Сомкнутость крон 0,6—0,9. В подлеске — редко ольха. В травянистом ярусе преобладают вейник (*Calamagrostis arundinacea*), хвощ (*Equisetum pratense*), часто встречаются вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*), седмичник

Изменение глубины протаивания, температуры вечной мерзлоты и мощности вечной мерзлоты в процессе зарастания водоемов на I надпойменной террасе р. Теи

Стадия зарастания водоемов	Грунты	Сомкнутость крон	Покрытие трав, кустарничков, %	Температура грунта на глубине 1 м, °C	Глубина протаивания (см) 12 июля 1960 г.	Мощность вечной мерзлоты, м
Болота с водой на поверхности	0—20—50 см—затененный, полужидкий торф, пронизанный корнями, ниже иловатый песок, подстилаемый на глубине 150—200 см галькой	—	40—80	выше 0	сезонномерзлый слой протаял	нет
Кустарничково-сфагновое болото	торф мощностью 50—60 см, под ним иловатый песок, подстилаемый на глубине 180—200 см галькой с песком и гравием	—	40—60	—0,1	35	—0,5—0,7
Редколесье на сфагновом болоте	сфагновый торф мощностью 50—60 см, под ним осоково-сфагновый, осоково-кустарничковый торф до 80—120 см, ниже иловатый песок, на глубине 200—250 см—галька с песком и гравием	0,1—0,2	20—40	нет данных	20	до 10—15

(*Trientalis europaea*), линнея (*Linnaea borealis*), ожика (*Luzula pilosa*), грушанка (*Pirola incarnata*), звездчатка (*Stellaria bungeana*), хвощ (*Equisetum scirpoides*), мерингия (*Moehringia lateriflora*). Общее покрытие яруса 15—60%. Напочвенный покров развит слабо, кое-где встречаются отдельные куртинки мхов, преимущественно *Polytrichum commune*. Под березняками почва прогревается и оттаивает быстро, особенно весной, когда еще полностью не распустились листья на деревьях.

Промерзшие за зимний период слои почвы под березняками протаивают часто еще в первую половину лета. В 1960 г. суглинистая почва к 10 июля протаяла под березовым лесом в долине р. Теи на 92 см (глубина промерзания была равна 110 см).

2. Еловые леса. Развивающаяся под пологом березняков ель постепенно вытесняет березу и березовые леса сменяются еловыми. В древостое встречаются ели, диаметры стволов которых 10—30 см, высота 8—20 м; березы (до 30%), высота их 7—15 м, диаметры стволов 10—25 см; лиственницы, высотой 10—20 м; отдельные кедр, высота их до 12 м. Сомкнутость крон 0,7—0,8. В подросте ель, в подлеске ольха, рябинолистник (*Sorbaria sorbifolia*), жимолость (*Lonicera altaica*), роза (*Rosa acicularis*). Сомкнутость полога 0,2—0,3. В травянистом ярусе обилие папоротников (*Dryopteris robertiana*, *Cystopteris montana*), хвоща (*Equisetum sylvaticum*), а также встречаются все виды трав, перечисленные при описании березняка, и брусника. Общее покрытие яруса 10—60%. В напочвенном покрове, занимающем 30—70% поверхности, доминируют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium proliferum*, *Polytrichum commune*. Высота его 3—7 см. В процессе смены березовых лесов еловыми изменяются условия прогревания (протаивания) и охлаждения (промерзания) грунтов. По мере развития и смыкания елового подроста прогревание почвы летом уменьшается, а зимой усиливается охлаждение. Развивающийся моховой покров и накопление подстилки также задерживают поступление тепла в почву. В результате промерзшие за зимние периоды слои почвы не протаивают летом, формируются перелетки, а впоследствии вечная мерзлота.

3. Заболоченные лиственничные редколесья. Дальнейшее накопление торфа и уменьшение протаивания почвы влечет ее заболачивание, развитие сфагновых мхов, ускоряющих процесс заболачивания и ухудшающих почву. В результате этого ель постепенно отмирает, лиственница угнетена, и еловый лес превращается в заболоченное редколесье. Высота лиственниц 2—7 м, диаметр 2—15 см, встречаются ели тех же размеров, березы, отдельные кедр, высота последних не более 5 м. Сомкнутость крон 0,2—0,3. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают болотный мирт, багульник, брусника, осока (*Carex globularis*); часто встречаются голубика, вейник (*Calamagrostis lapponica*), водяника. Общее покрытие яруса 40—60%. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum russowii*, *S. angustifolium*; часто встре-

Изменение глубины протаивания, температуры грунтов и мощности вечной мерзлоты в процессе восстановления леса после пожара на II надпойменной террасе р. Теи

Изменение глубины протаявания после пожара на II надпойменной террасе р. М

Стадия восстанов- ления леса	Грунты	Сомкну- тость крон	Мощность, см		Глубина протаява- ния (см) в начале июля	Температура (°C) грунтов в первой декаде июля 1960 г. на глубине (м)								Мощность вечной мерзлоты, м		
			мохового покрова	торфяни- стого по- крова		на глубине (м)										
						0,5	1,0	2,0	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0		7,0	10,0
Подрост бере- зы, возраст 8—9 лет . .	суглинки с включени- ем гальки, щебня, гра- вия, иногда торфа и про- слоями супе- сей и песка	—	нет	нет	сезонно- мерзлый слой почвы протаял	6,3	2,2	1,1	—	1,4	—	—	—	—	—	нет
Березняк, воз- раст 50—60 лет	то же	0,6—0,9	нет	нет	90	—	—0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	нет
Еловый лес, возраст 100— 150 лет . . .	»	0,7—0,9	5	5—15	30	—	—0,3—0,3	—0,3—0,3	—	—0,5—0,4	—	—	—	—0,3—0,2	—	11
Заболоченное лиственнич- ное редколе- сье	»	0,1—0,2	5—12	25—35	20	—	—0,1—0,1	—0,9—0,8	—	—0,6—0,5	—0,1—0,1	—	—	—	—	9

чаются *Aulacomnium palustre*, *Hylocomium proliferum*, *Pleurozium schreberi*, *Peltigera aphthosa*. Для почвы редколесья характерен мощный (до 35 см) торфяной горизонт. По мере смены елового леса лиственным заболоченным редколесьем понижается температура грунтов, уменьшается глубина протаивания (табл. 69), усиливается промерзание грунтов и увеличивается мощность вечной мерзлоты. Изменение температурного режима и формирование вечной мерзлоты является неизбежным следствием развития растительности в современных условиях Енисейского края. Подобный ход восстановления и развития лесов после пожара, сопровождающийся формированием вечной мерзлоты, наблюдается только на слабо дренированных участках, сложенных сверху суглинками, супесями и иловатыми песками. На участках сильно дренированных и сложенных песками, гравием, галькой, щебнем и глыбами кристаллических пород при восстановлении и развитии лесной растительности после пожара вечная мерзлота не формируется. Последние участки занимают основную площадь (80—85%) края.

В пределах Енисейского края на большинстве участков вечная мерзлота сформировалась под ведущим влиянием развития растительности, основные моменты которого охарактеризованы. Если уничтожить растительный покров на таких участках, то вечная мерзлота протает полностью обычно в течение последующих 10 лет. В 1960 г. при вторичной проходке скважин, пробуренных в 1952 г. Северо-Енисейским приисковым управлением в долине р. Талой, было установлено, что на участках, где в 1952 г. залегала вечная мерзлота, вокруг скважин образовались воронки, глубиной до 1 м и диаметром до 5 м (многие из них с водой), а вечная мерзлота мощностью 4 м протаяла полностью. Эти участки были покрыты зарослями кустарников со сплошным моховым покровом (под мхом залегал торфянистый горизонт мощностью около 20 см). При бурении скважин в 1952 г. растительность и торф около них были уничтожены, что привело к усилению прогревания почвы летом, протаиванию вечной мерзлоты и просадке поверхности. На участках, расположенных всего в 10 м от скважин, где растительность не была нарушена, вечная мерзлота сохранилась.

В долине р. Удереи при вторичной проходке скважины, пробуренной в 1953 г. Южно-Енисейским приисковым управлением, было установлено, что температура грунтов на глубине 3,5 м в августе 1960 г. была +1,4°. В 1953 г. на этом участке залегала вечная мерзлота мощностью около 9 м, протаявшая к 1960 г. полностью или не менее чем на 7 м. При бурении скважины в 1953 г. была вырублена просека шириной 12 м, около скважины уничтожен моховой покров и торфянистый слой почвы. На просеке, где не был уничтожен моховой покров на расстоянии 10 м от скважины, вечная мерзлота залегала в 1960 г. на глубине 2 м.

В пределах Енисейского края вечная мерзлота изменяется в соответствии с динамикой растительного покрова.

Вечная мерзлота формируется на месте таликов вследствие развития мхов и образования сомкнутого полога в темнохвойных лесах и в результате заторфовывания водоемов; способствует заболачиванию лесов.

После уничтожения растительного покрова (и торфа) вечная мерзлота деградирует. Восстановление растительности влечет восстановление вечной мерзлоты.

Вечная мерзлота в поймах рек, на древних террасах, пологих склонах гор, седловинах распространена преимущественно на участках, покрытых еловыми лесами, редкостойными лиственничными лесами или редколесьями с покровом из сфагновых мхов.

Вечная мерзлота очень неустойчива и протаивает полностью после уничтожения растительного покрова.

Правобережье р. Вилюй

Динамика растительного покрова в этом районе изучалась в бассейне р. Ирэлээх (левый приток р. М. Ботуобия, которая является правым притоком р. Вилюй в его среднем течении). Вечная мерзлота залегает здесь повсюду, талики развиты только под водоемами.

Исследования проводились в пойме и на коренных берегах.

Пойма покрыта в основном лесами, которые заболачиваются по мере изменения пойменного режима и дренажа, в связи с динамикой русла и мерзлоты. Выделяются три стадии развития пойменных лесов.

1. Лиственнично-еловые леса (рис. 13) развиваются на высоких достаточно дренированных участках центральной поймы. Высота деревьев 10—20 м, диаметры стволов 15—50 см, сомкнутость крон 0,5—0,7. В подлеске редко встречаются ивы (*Salix philicifolia*, *S. pirolaeifolia*, *S. viminalis*), береза (*Betula fruticosa*), ольха (*Alnus fruticosa*). Сомкнутость полога подлеска 0,1. В травостое преобладает вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*), общее покрытие трав 10—40%. В редком (покрытие до 40%) напочвенном покрове преобладают *Hylocomium proliferum*, *Drepanocladus uncinatus*, *Pleurozium schreberi*, *Climacium dendroides*, *Rhytidium rugosum*. Высота мохового покрова 3—4 см. Иловато-песчаная (супесчаная) почва под такими лесами протаивает на 60—100 см.

2. Редкостойные лиственничные леса (рис. 14) обычно с примесью ели сменяют лиственнично-еловые в результате ухудшения почвенных условий в ходе развития мхов. В древостое преобладают лиственницы, диаметры стволов которых 5—10 см (редко до 25 см), высота их до 10 м (редко до 20 м), кроны узкие, стволы сбежистые, искривлены, на ветвях обилие лишайников. Еще более угнетены ели, диаметры стволов 5—10 см, высота 3—7 м, редко встречается береза (*Betula plathyphylla*), высота ее до 5 м. Много сухих стволов, часто наклоненных, упавших, иногда стоящих, как колонны, без ветвей и вершин, диаметры их достигают

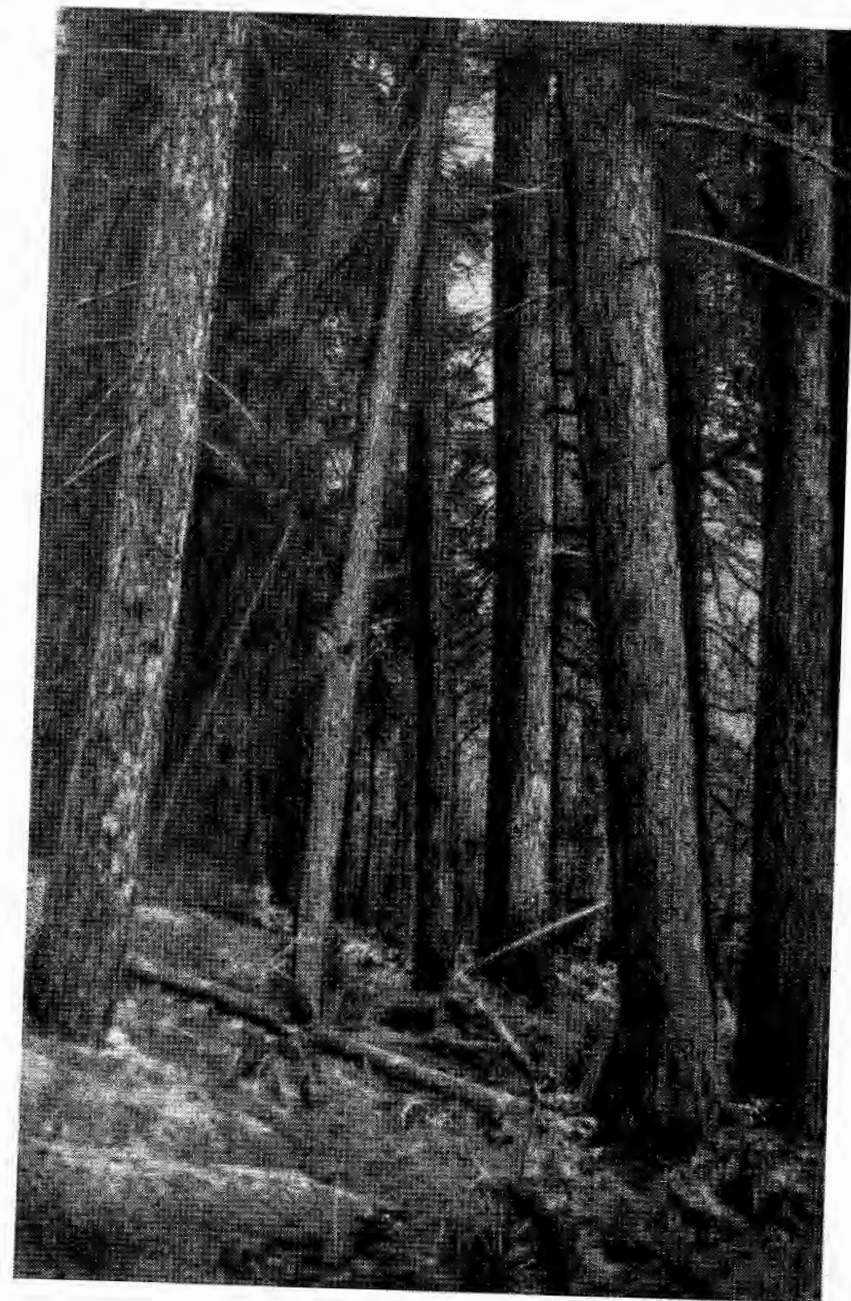


Рис. 13. Лиственнично-еловый лес в прирусловой пойме р. Ирэлээха на почвах, протаивающих на 60—100 см



Рис. 14. Угнетенный редкостойный лиственнично-зеленомошник в пойме р. Ирэлээх на почвах, протаивающих на 40—75 см

70 см. Они свидетельствуют о хороших условиях роста леса в недавнем прошлом. Сомкнутость крон 0,3—0,4. В очень редком (сомкнутость полога до 0,1) подлеске встречаются береза и ивы (*Salix oblongifolia*, *S. rhamnifolia*). В редком (покрытие 10—20%) травяно-кустарничковом ярусе встречаются голубика, роза (*Rosa acicularis*), арктоус (*Arctous alpina*), хвощи (*Equisetum pratense*, *E. scirpoides*), брусника, толокнянка (*Arctostaphylos uva ursi*), белозор (*Parnassia palustris*), арктаростис (*Arctagrostis arundinacea*), овсяница (*Festuca ovina*), осока (*Carex redowskiana*).

Напочвенный покров сплошной, высота его 6—10 см, преобладают *Hylocomium proliferum*, *Rhytidium rugosum*, *Aulacomnium palustre* на повышениях микрорельефа, *Camphothecium trichoides* — в понижениях; встречаются часто *Peltigera aphthosa*, *Cladonia rangiferina*. Для почвы характерно наличие торфянистого горизонта мощностью 5—15 см, под которым залегают иловатые супеси (пески), протаивающие на 40—75 см.

3. Заболоченные лиственничные редколесья (рис. 15) возникают на месте редкостойных лесов. В древостое лиственницы, диаметры стволов которых 3—10 см, высота 2—7 м, редко еще более угнетенные и низкие ели и березы. Сомкнутость крон 0,2. В травяно-кустарничковом ярусе и в подлеске встречаются те же виды, что и в редкостойном лиственничном лесу, но более угнетенные. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium palustre*, *Camphothecium trichoides*, встречаются *Pleurozium schreberi*, *Peltigera aphthosa*, *Cladonia alpestris*, *Cetraria islandica*. Под напочвенным покровом залегает торфяной горизонт мощностью 15—40 см, под которым иловатые супеси (пески). Почва протаивает на 20—50 см. На участках поймы, где уничтожен растительный покров и торфяные слои почвы, глубина протаивания достигает 155 см. Следовательно, в результате развития заболоченных лиственничных редколесий в пойме глубина протаивания почвы уменьшается на 105—135 см. Уменьшение глубины протаивания почвы в процессе развития лесной растительности является в основном следствием развития мхов и накопления торфянистого слоя (табл. 70).

Таблица 70

Изменение глубины протаивания пылевато-песчаной почвы в процессе развития лесов в пойме р. Ирэлээх

Стадии развития лесов	Сомкнутость крон	Покрытие трав, кустарничков, %	Мощность, см		Глубина протаивания (см) в сентябре 1956 г.
			напочвенного покрова	торфянистого горизонта	
Лиственнично-еловый лес . . .	0,5—0,7	30—40	3—4	нет	60—100
Редкостойный лиственничный лес	0,3—0,4	30—40	4—7	5—15	40—75
Заболоченное лиственничное редколесье	0,2—0,3	40—50	5—8	15—40	20—50



Рис. 15. Заболоченное лиственничное редколесье в пойме р. Ирээлэха на почвах, протаивающих на 20—50 см

Коренные берега покрыты в основном лиственничными лесами, растущими на суглинистых почвах. На песчаных холмах растут сосновые леса, которые часто горят.

Восстановление лиственничных лесов после пожаров нередко происходит без смены пород.

После выгорания тайги на плоских участках, сложенных сверху суглинками с дресвой, почва в первые годы после пожара протаивает на 145—160 см. Поселяющийся подрост лиственницы по мере увеличения сомкнутости крон, а также опад хвои, травянистый покров замедляют протаивание почвы. Под подростом лиственницы высотой до 3,0 м (сомкнутость полога 0,6—0,8) развит травяно-кустарничковый ярус, в котором преобладают брусника, голубика, часто встречаются багульник, иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*), общее покрытие яруса 30—50%. Напочвенный покров развит слабо, встречаются часто *Aulacomnium palustre*, *Peltigera aphthosa*. На поверхности почвы рыхлый опад до 3—5 см. Почва протаяла в 1956 г. на 120 см.

Впоследствии на таких участках развиваются лиственничные леса с подлеском из березы. Лиственницы высотой 5—20 м, диаметры стволов 8—30 см, образуют основную массу древостоя, редко встречается ель, чаще береза (*Betula plathyphylla*), сомкнутость крон 0,4—0,6. В подлеске береза (*Betula fruticosa*) и некоторые ивы, сомкнутость полога подлеска 0,1—0,3. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает голубика, часто встречаются брусника, толокнянка (*Arctostaphylos uva ursi*), багульник, водяника (*Empetrum nigrum*), вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*). Общее покрытие трав и кустарничков 40—60%. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium palustre*, *Camptothecium trichoides* — в понижениях и *Cladonia rangiferina* — на повышенных участках: часто встречаются *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium proliferum*, *Peltigera aphthosa*, *Ptilidium ciliare*.

Для почвы характерен небольшой 5—7 см торфянистый горизонт. Глубина протаивания почвы в 1956 г. была 80—115 см. Дальнейшее накопление торфянистого слоя в таком лесу приводит к замедлению протаивания почвы, понижению температуры ее, ухудшая таким путем условия развития подземных органов деревьев. Древостой изреживается и угнетается, почва несколько заболачивается, развивается редкостойный лиственничный лес. Лиственницы высотой 4—15 м (диаметры стволов их 5—30 см) образуют основную массу древостоя, единично встречается ель, часто береза. Сомкнутость крон 0,2—0,5. В подлеске (сомкнутость полога 0,1—0,3) преобладает береза, часто встречаются ивы (*Salix jeniseensis*, *S. xerophylla*), жимолость (*Lonicera altaica*).

В травяно-кустарничковом ярусе преобладают голубика и вейник (*Calamagrostis lapponica*), встречаются часто брусника, багульник, водяника, овсяница, хвощи (*Equisetum scirpoides*, *E. pratense*), рамишия (*Ramischia secunda*), нардосмия (*Nardosmia*

[*rigida*), княженика (*Rubus arcticus*), водяника (*Empetrum nigrum*), кипрей.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium palustre*, *Camptothecium trichoides*, *Polytrichum commune*, часто встречаются *Peltigera aphthosa*, *Cladonia rangiferina*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium proliferum*. Под моховым покровом значительный (10—20 см) торфянистый горизонт. Глубина протаивания почвы 60—80 см. Так, по мере восстановления редкостойного лиственничного леса после пожара преимущественно под влиянием накопления торфянистого слоя и развития сплошного мохового покрова уменьшается глубина протаивания почвы (табл. 71).

Это уменьшение длится десятки и даже сотни лет. Выгорание же мохового покрова и торфянистого горизонта почвы в лесу приводит уже на следующий сезон к увеличению глубины протаивания на 75—95 см.

Таблица 71

Глубина протаивания суглинистой почвы с включением щебня на коренных берегах р. Ирээзх

Этапы восстановления леса после пожара	Сомкнутость крон	Сомкнутость полог подлеска	Покрывание трав и кустарничков, %	Мощность, см		Глубина протаивания (см) на 11 сентября 1956 г.
				напочвенного покрова	торфянистого горизонта	
Всходы лиственницы	—	—	20—40	нет	нет	155
Лиственничник-жердняк, возраст 10—20 лет	0,6—0,8	нет	30—50	—	2—3	120
Лиственничный лес, возраст около 70 лет	0,4—0,6	0,1—0,3	40—60	3—6	5—7	80—115
Редкостойный лиственничный лес, возраст 100—150 лет . .	0,2—0,5	0,1—0,3	20—40	4—7	10—20	60—80

Алданское плоскогорье

В пределах плоскогорья динамика растительного покрова исследовалась только в пойме р. Чульман (левый приток р. Тимптон).

В пойме выделены следующие стадии развития растительного покрова.

1. Чозениевые леса (рис. 16) или тополевые леса развиваются на участках центральной поймы, граничащих с прирусловой.

Чозении и тополя образуют сомкнутые насаждения высотой 15—25 м. Сомкнутость крон 0,5—0,8. Подрост тополя и чозении отсутствует, но обилён подрост лиственницы, ели. В подлеске дерен (*Cornus tatarica*), жимолость (*Lonicera edulis*), смородина (*Ribes rubrum*), лапчатка (*Potentilla fruticosa*).



Рис. 16. Чозениевый лес в пойме р. Чульмана — индикатор немерзлых грунтов

Сомкнутость полога подлеска 0,2—0,6. В травянистом ярусе преобладают вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*), хвощ (*Equisetum pratense*), грушанка (*Pirola incarnata*), майник (*Majanthemum bifolium*). Общее покрытие трав 10—60%.

Моховой покров не развит. Слой иловато-песчаной (супесчаной) почвы, которые промерзают зимой, ежегодно протанивают. Вечной мерзлоты под тополевыми или чозениевыми лесами нет.

2. Лиственничные или еловые леса. Подрост тополя и чозении под пологом взрослых насаждений не развивается, а подрост лиственницы и ели растет хорошо, поэтому чозениевые и тополевые леса сменяются лиственничными или еловыми. В древесном ярусе преобладают лиственницы высотой 15—25 м, диаметры стволов их 15—45 см (рис. 17); часто встречаются ели высотой 15—25 м, диаметры стволов 15—55 см. Сомкнутость крон 0,6—0,9. Подрост лиственницы хорошо развит и на прогалинах образует нередко непроходимые заросли.

В подлеске встречаются (помимо видов, отмеченных при описании тополевых и чозениевых насаждений) также ольха (*Alnus fruticosa*), береза (*Betula middendorffii*). Однако подлесок редкий, кустарники сильно угнетены. Сомкнутость полога подлеска 0,1—0,2.

В травяно-кустарничковом ярусе преобладают брусника, грушанка, вейник, багульник, овсяница (*Festuca ovina*), хвощ (*Equisetum pratense*). Общее покрытие яруса 30—70%.

Напочвенный покров не везде сплошной, на некоторых участках отсутствует (высота его около 5 см), покрытие 40—90%. В его составе преобладают *Hylocomium proliferum*, *Pleurozium schreberi*, часто встречаются *Rhytidium rugosum*, *Sphagnum girgensohnii*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Peltigera aphthosa*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*.

Развитие сплошного мохового покрова в лиственничном лесу замедляет поступление тепла в почву, промерзшие слои ее не успевают протаять и образуются сначала перелетки, а впоследствии вечная мерзлота.

3. Редкостойные лиственничные леса. Дальнейшее развитие мхов и накопление торфа неблагоприятно отражаются на росте деревьев, лес изреживается и превращается в редкостойный. Высота лиственниц 4—18 м, диаметр 2—30 см, кроны их редкие с обилием лишайников на ветвях (рис. 18), вершины часто сухие. Среди такого древостоя встречаются мертвые стволы лиственниц, диаметры их 60—80 см, свидетельствующие о хороших условиях роста деревьев на этих участках в недалеком прошлом. Сомкнутость крон 0,3—0,4.

Подрост лиственницы сильно угнетен. В редком (сомкнутость полога 0,1) подлеске встречаются ольха и кедровый стланник. Хорошо развит травяно-кустарничковый ярус, в котором преобладают багульник, голубика, брусника, осока (*Carex globularis*), хвощ (*Equisetum palustre*); часто встречаются болотный мирт, морошка, княженика, арктагросис, вейник, общее покрытие яруса 50—

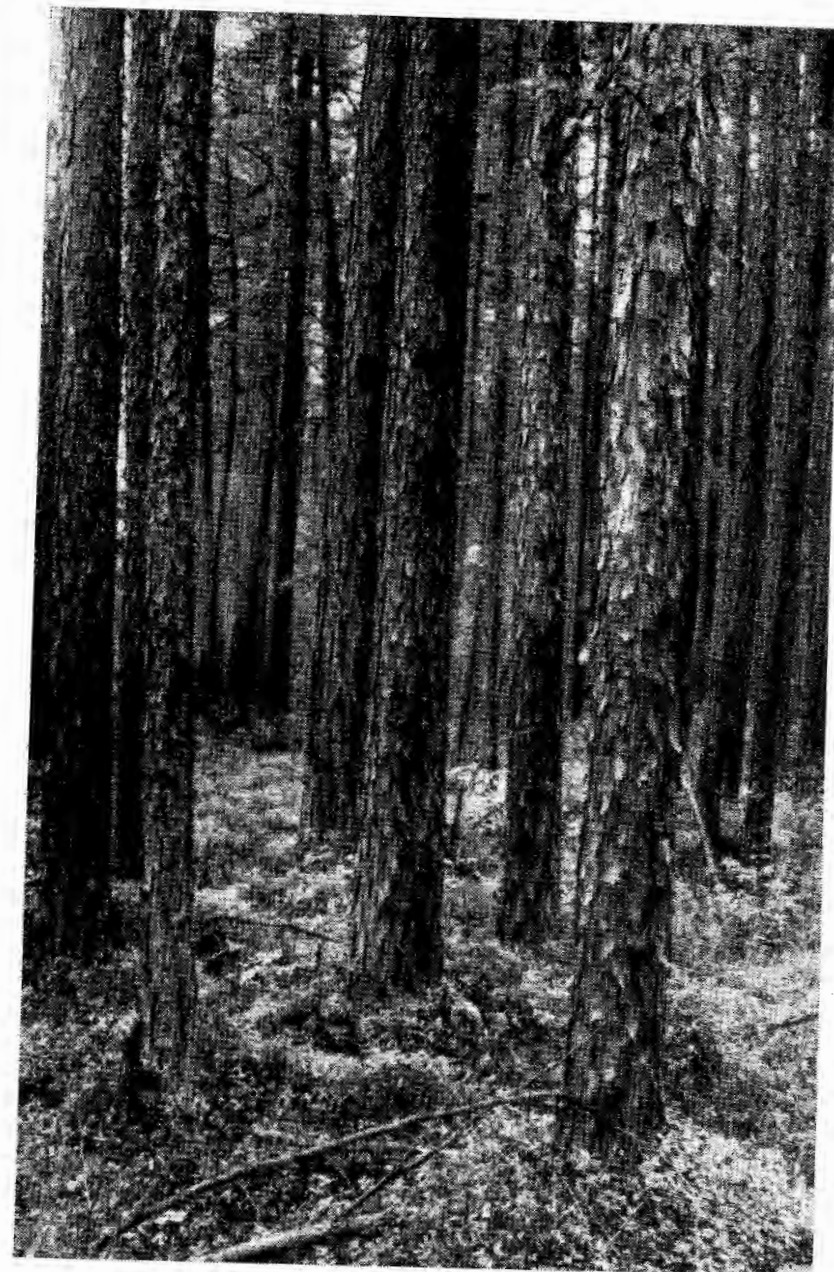


Рис. 17. Лиственничный лес в пойме р. Чульмана на почвах, протанивающих на 100—130 см



Рис. 18. Угнетенный редкостойный лиственный лес на почвах, протаивающих на 30—90 см, в пойме

70%. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Pleurozium schreberi*, *Aulacomnium turgidum*, *Ptilidium ciliare* — на повышениях; *Sphagnum girgensohnii*, *S. angustifolium* — в понижениях. Часто встречаются *Hylocomium proliferum*, *Polytrichum commune*, *Camptothecium trichoides*, *Sphagnum balticum*, *Cladonia rangiferina*, *C. alpestris*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*, *Peltigera aphthosa*.

Под моховым покровом значительный (10—20 см) торфянистый горизонт. Почва протаивает под редкостойными лиственными лесами на 30—90 см.

4. Лиственный редколесья на сфагновых болотах возникают на месте редкостойных лесов. Лиственницы, высота их 2—7 м, диаметры стволов 3—15 см, имеют сильноосежные стволы, узкие и редкие кроны с обилием лишайников на ветвях. Они образуют редкие (сомкнутость крон 0,1—0,2) насаждения. Подлесок отсутствует. В хорошо развитом травяно-кустарничковом ярусе, общее покрытие которого 40—70%, преобладают багульник, болотный мирт, голубика, пушица (*Eriophorum vaginatum*), морощка; часто встречаются осока (*Carex globularis*), арктагросис, вейник, ива (*Salix myrtilloides*), смилацина (*Smilacina trifolia*), клюква (*Oxycoccus microcarpus*).

В сплошном напочвенном покрове преобладают сфагновые мхи: *Sphagnum angustifolium*, *S. girgensohnii*, *S. papillosum*, *S. fuscum*, *S. lenense*, часто встречаются *S. acutifolium*, *S. angstroemii*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista castrensis*, *Aulacomnium palustre*, *A. turgidum*, *Ptilidium ciliare* и лишайники. Для почвы лиственных редколесий характерны значительный (30—50 см) торфяной горизонт и неглубокое (30—60 см) протаивание.

Лиственный редколесья на сфагновых болотах являются заключительным звеном развития лесной растительности в пойме р. Чульман (табл. 72).

Изложенные материалы свидетельствуют о том, что в процессе развития растительности в пойме р. Чульман совершаются такие изменения теплообмена между почвой и атмосферой, которые неизбежно приводят к преобладанию промерзания грунтов над протаиванием, к формированию вечной мерзлоты, к понижению ее температуры и увеличению мощности (см. табл. 72). Главнейшей причиной этих изменений теплообмена является развитие сплошного мохового покрова и накопление торфа.

Вечная мерзлота в пойме р. Чульман формируется также в процессе зарастания водоемов. Этот процесс в основных чертах сходен с тем, который наблюдается в пределах Енисейского края.

Долина р. Селемджи

Динамика растительного покрова изучалась на отрезке долины от устья р. Быссы до впадения р. Уландочки. Отдельные острова вечной мерзлоты встречаются спорадически на сильно замшелых

Изменение глубины протаивания грунтов и мощности вечной мерзлоты в процессе развития лесов в пойме р. Чульман

Стадия развития лесов	Грунт	Сомкнутость		Покрытие трав, кустарников, %	Мощность, см		Глубина протаивания, см	Мощность вечной мерзлоты, м
		крон	полога кустарников		наповерхностного покрова	торфянистого горизонта		
Тополевые или чозениевые леса	песок илиловатый (су-песь) до 1—2 м, ниже галька	0,5—0,8	0,2—0,6	10—60	нет	нет	сезонномерзлый слой протаивает полностью	нет
Сомкнутый лиственный лес	то же	0,6—0,9	0,1—0,2	30—70	5	2—5	100—130	0,5—несколько метров
Редкостойный лиственный лес	»	0,3—0,4	0,1	50—70	5—12	10—20	30—90	больше 5
Лиственный редкостойный лес на сфагновом болоте	»	0,1—0,2	—	40—70	5—12	30—50	30—60	больше 10

и заторфованных участках долины, а также под темнохвойными лесами.

Смены растительных сообществ изучались в пойме и на заболоченных участках долины.

В пойме р. Селемджи значительную площадь занимают леса. Залесение пойменных отложений начинается на участках прирусловой поймы и включает следующие стадии.

1. Тополево-чозениевые леса. Наиболее пониженные участки прирусловой поймы, где есть растительность, зарастают чозенией (*Chosenia macrolephis*), кусты которой обычно пригнуты к гальке и вершины их направлены вниз по течению. Полоса прижатых к гальке кустов чозении примыкает к молодому чозеннику, высота которого увеличивается по мере повышения уровня поймы, в нем встречается подрост тополя (*Populus suaveolens*), ива (*Salix rossica*), травостой редкий (общее покрытие около 25%). В травянистом ярусе встречаются мятлик (*Poa pratensis*), одуванчик (*Taraxacum officinale*), костер, (*Bromus sibiricus*), овсяница (*Festuca rubra*), хвощ (*Equisetum pratense*), щучка (*Deschampsia caespitosa*), ситник (*Juncus brachyspatus*). Сомкнутость полога чозении 0,3—0,6. По мере повышения уровня прирусловой поймы увеличивается высота чозении и количество тополя, постепенно чозенник сменяется тополево-чозениевым лесом. Высота деревьев 15—20 м, сомкнутость крон 0,6—0,7. В травянистом ярусе доминирует вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*), обилён хвощ (*Equisetum pratense*), папоротник (*Struthiopteris filicastrum*). Общее покрытие трав 40—70%.

2. Тополевые леса. В процессе дальнейшего развития тополево-чозениевые леса сменяются тополевыми (рис. 19). Вероятно, чозения раньше выпадает из древостоя, вследствие меньшей долговечности, чем тополь. Тополевые леса занимают обширные участки центральной поймы Селемджи. Тополя, высотой 20—30 м, с диаметром стволов 30—60 см, образуют сомкнутое насаждение (сомкнутость крон 0,7—0,9). Во втором древесном ярусе встречаются черемуха (*Padus maackii*), ольха (*Alnus tinctoria*), в подлеске — дерен (*Cornus tatarica*), клен (*Acer ukurunduense*), смородина (*Ribes palczewskii*). Сомкнутость полога подлеска 0,1—0,2. В тополево-лесу подрост тополя не развит, но обилён подрост ели (*Picea ajanensis*), пихты (*Abies nephrolepis*).

В травянистом ярусе доминируют вейник и папоротник. Общее покрытие яруса 30—60%. Песчаная почва, подстилаемая на глубине 0,5—2,0 м галькой и гравием, под чозениевыми и тополевыми насаждениями хорошо прогревается летом и сезонномерзлый слой ее ежегодно полностью протаивает. Вечная мерзлота под этими насаждениями не формируется. Однако по мере развития растительности и смены отмеченных растительных сообществ увеличивается сомкнутость крон древостоя, покрытие трав, подлеска, накапливается подстилка, и в результате понижается температура почвы (табл. 73).

Температура песчаной почвы в пойме р. Селемджи под чозениевыми и тополевыми насаждениями 29 июня 1955 г. в полдень

Этапы развития растительности	Сомкну- тость крон	Покры- тость трав, %	Мощность подстилки, см	Температура, °C	
				на поверх- ности	на глубине 20 см
Подрост чозени	0,1	10—20	нет	28,0	19,2
Редкий чозенник	0,5	20—40	нет	—	15,3
Тополево-чозенный лес	0,6—0,7	70	2	—	11,2
Топольевый лес	0,8	60	5	16,2	5,7

3. Пихтовые или еловые леса. Пихта и ель, хорошо развивающиеся под пологом тополевых лесов, постепенно вытесняют тополь. Топольевые леса сменяются пихтовыми (рис. 20), еловыми или елово-пихтовыми.

Под сомкнутым древостоем из пихты и ели подлесок очень редкий и угнетен, встречаются отдельные экземпляры дуба, клена, рябины (*Sorbus sibirica*). В редком травянистом ярусе, общее покрытие которого обычно не превышает 30%, обильны соломонова печать (*Polygonatum officinale*), грушанка (*Pirola incarnata*), майник (*Majanthemum bifolium*), кислица (*Oxalis acetosella*).

Моховой покров развит слабо. Общее покрытие мхов не более 40%, преобладают *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Hylocomium proli-ferum*, лишь местами около понижений с проточной водой развиваются сфагновые мхи, преобладает *Sphagnum teres*. На почве слой подстилки, состоящий в основном из опада хвой, мощность его 3—5 см. Формирование сомкнутого полога из темнохвойных пород, а также накопление подстилки изменяют условия прогревания почвы. Прогревание ее замедляется, сезоннопромерзающие слои почвы не протаивают полностью летом, формируются сначала перелетки, а впоследствии вечная мерзлота (табл. 74).

Следовательно, растительность в данном случае является основной причиной, способствующей формированию вечной мерзлоты на месте немерзлых аллювиальных отложений. Уничтожение темнохвойных лесов в пойме р. Селемджи способствует усилению прогревания почв и ведет к полному протаиванию вечной мерзлоты.

В поле на расчищенном из-под хвойного леса участке высокой поймы Селемджи температура песчаной почвы 20 июня 1955 г. была на глубине 50 см 13,0° (мерзлый слой залегал на глубине от 103 до 149 см), на глубине 2 м температура была 0,4°, на глубине 4 м 1,2°, на глубине 6 м 2,0°.

Заболоченные участки в долине р. Селемджи большую площадь занимают в приустьевых частях рек, впадающих в нее. Особенно большие болотные массивы расположены около устья р. Бысы.

Развитие растительного покрова болот включает три стадии.



Рис. 19. Топольевый лес — индикатор немерзлых грунтов в пойме р. Селемджи

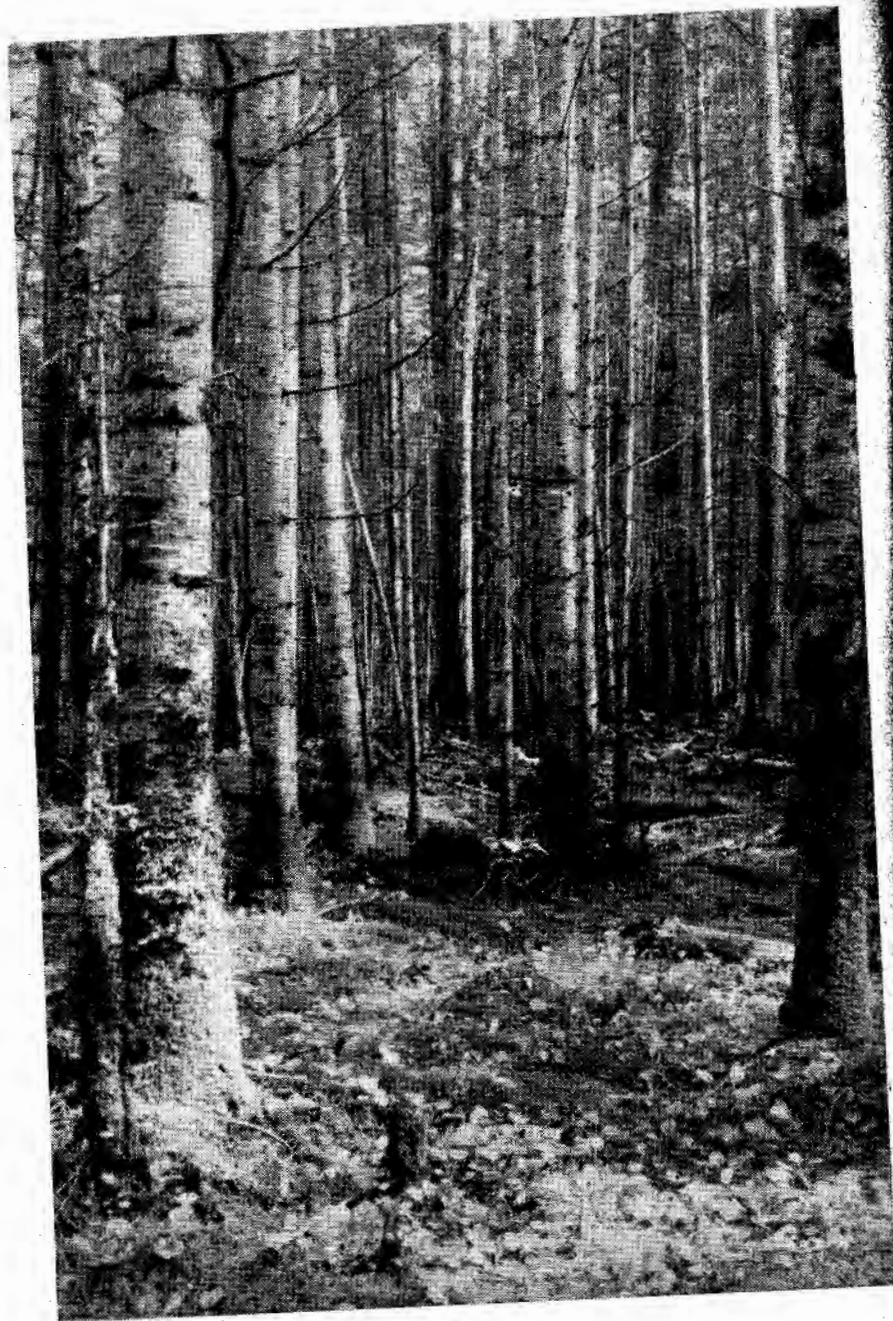


Рис. 20. Пихтовый лес на почвах, протаивающих на 65—150 см, в пойме р. Селемджи

Таблица 74

Глубина протаивания, температура песчаной почвы, мощность вечной мерзлоты в пойме р. Селемджи

Растительность	Сомкнутость кроны	Покрытие, %		Мощность подстилки и торфянистого горизонта, см	Температура почвы (°C) 21 августа 1955 г. на глубине		Глубина протаивания (см) 21 августа 1955	Мощность вечной мерзлоты, м
		трав	мхов		50 см	100 см		
Топольевый лес с пихтой во II ярусе	0,7	70	нет	3	8,8	5,5	сезонно-мерзлый слой протаял	нет
Пихтовый лес (ровный участок)	0,9	20	нет	4	8,5	3,2	150	больше 1,3
Пихтовый лес (понижение со сфагновыми мхами)	0,8	20	100	10	1,5	ниже 0°	65	нет данных

1. Осоковые кочковатые болота занимают наиболее пониженные и обводненные участки. Кочки осоки (*Carex willuica*) высотой до 70 см и диаметром до 60 см занимают основную часть площади болота. Между кочками вода. На кочках и между ними часто встречаются вейник, кровохлебка (*Sanguisorba officinalis*), пушица (*Eriophorum gracile*), купальница (*Trollius ledebourii*), калужница (*Caltha palustris*), касатик (*Iris kaempferi*), скрученник (*Spiranthus australis*), мытники (*Pedicularis grandiflora*, *P. resupinata*), валериана (*Valeriana alternifolia*), патриния (*Patrinia scobiosaefolia*), чихотная трава (*Achillea ptarmica*), лигулярия (*Ligularia sibirica*), лобелия (*Lobelia sessilifolia*), кизляк (*Numburgia thysiflora*), горечавка (*Gentiana triflora*). Общее покрытие трав 80—90%. В межкочечных промежутках в воде местами обилие мхов (в основном виды рода *Drepanocladus*).

На участках осоковых болот, где суглинистая почва не перекрыта торфяным горизонтом, сезонномерзлый слой, как правило, протаивает в течение лета и вечная мерзлота не формируется.

2. Осоково-сфагновые болота. Накопление торфа на кочкарном осоковом болоте и развитие мохового покрова между кочками постепенно изменяют условия обитания растений, травы угнетаются, в то время как мхи хорошо развиваются и заполняют межкочечные пространства. Осоковое болото сменяется осоково-сфагновым. В травостое преобладает осока, но кочки ее полупогружены в мох, между кочками и на кочках встречаются, но более редко, почти все виды, характерные для кочковато-осокового боло-

Изменение глубины протаивания грунтов и мощности вечной мерзлоты в процессе развития болот в долине р. Селемджи

Изменение глубины протаивания грунтов и мощности вечной мерзлоты	Стадии развития болот	Грунты	Мощность торфяного слоя, см	Глубина водного слоя на поверхности почвы, см	Температура грунтов на глубине (м) 31 июля—7 августа 1955 г.				Глубина протаивания (см) 31 июля 7 августа 1955 г.	Мощность вечной мерзлоты, м
					2	3	4			
	Осоковое болото	0—200 см—суглинок, 201—277 см—супесь с песком, 278 см—галька и гравий	нет	20—50	положительная				сезонно-мерзлый слой протаял	нет
	Осоково-сфагновое болото	11—388 см — суглинка, 389 см—пески с прослойками суглинка и супесей	10	5—10	—0,00	—0,0	—0,0	190	около 1,5	
	Осоково-сфагновое болото	46—112 см—суглинка, 113—220 см—супесь, 221 см—суглинка с галькой	45	0—5	—1,0	—1,2	—	85	больше	
	Кустарниково-сфагновое болото с отдельными лиственницами	106—297 см — суглинка, 298 см—галька	105	нет	—0,8	—0,9	—	65	больше	

та. В моховом покрове, занимающем около 50—60% поверхности болота, преобладают *Sphagnum balticum*, *S. obtusum*, *S. squarrosum*.

Торфяной горизонт на осоково-сфагновом болоте повсюду развит, мощность его до 50 см. По мере накопления торфа и заполнения межкочечных пространств мхами замедляется прогревание (протаивание) почвы, сезонномерзлый слой не протаивает, формируются перелетки и вечная мерзлота.

3. Кустарниково-сфагновые болота. Поселяющиеся на осоково-сфагновом болоте кустарники и кустарнички разрастаются, и осоково-сфагновое болото сменяется кустарниково-сфагновым, на котором растут отдельные лиственницы. В кустарниковом ярусе преобладают березы (*Betula exilis*, *B. fruticosa*). Сомкнутость полога 0,2—0,5. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают багульник, болотный мирт, голубика, осока (*Carex globularis*); часто встречаются брусника, осоки (*Carex wiluica*, *C. limosa*), пушица (*Eriophorum vaginatum*), андромеда, вейники (*Calamagrostis Langsdorfii*, *C. neglecta*), княженика (*Rubus arcticus*). Общее покрытие яруса 40—70%. В напочвенном покрове, занимающем 80—90% поверхности почвы, преобладают *Sphagnum balticum*, *S. angustifolium*, *Camphothecium tricoides*, *Aulacomnium palustre*; часто встречаются *Sphagnum magellanicum*, *S. orientale*, *Peltigera aphthosa*, *Cladonia rangiferina*.

Под такими кустарниково-сфагновыми болотами торфяная почва протаивает на 60—70 см, слой торфа нередко превышает 100 см. Таким путем на месте осокового болота, развитого на талых отложениях, формируются вечномерзлые торфяники, покрытые заболоченными лиственничными редколесьями или кустарниками. По мере развития растительности в отмеченном направлении понижается температура и увеличивается мощность вечной мерзлоты, а глубина протаивания уменьшается (табл. 75). Основной причиной, способствующей формированию вечной мерзлоты, является развитие мхов и накопление торфа.

* * *

Вечная мерзлота возникает на месте таликов вследствие развития мхов и накопления торфа (на болотах), в результате формирования сомкнутых темнохвойных лесов.

Вечная мерзлота очень неустойчива и деградирует после вырубки леса и уничтожения торфа.

ВЫВОДЫ

Динамика растительного покрова в связи с протаиванием и промерзанием грунтов на большей части территории Сибири, Дальнего Востока и Якутии не изучена, нет данных по европейской части

Союза и Чукотскому краю. Поэтому можно сделать лишь некоторые обобщения, относящиеся к отдельным районам области вечной мерзлоты.

А. Тундра и лесотундра Восточной Сибири и Якутии

В процессе развития растительности уменьшается глубина протаивания грунтов, соответственно повышается уровень вечной мерзлоты, погребаяются и консервируются полигонально-жильные льды.

Развитие растительности в водоемах способствует промерзанию таликов.

Развитие мохового покрова и накопление торфа — важная причина динамики протаивания грунтов.

Б. Северная часть тайги Восточной Сибири и Якутии

Динамика растительности существенно влияет на протаивание грунтов. После лесных пожаров, уничтожающих торфяно-моховой слой, глубина протаивания суглинков увеличивается на 75—95 см.

Восстановление леса после пожара влечет повышение уровня вечной мерзлоты за счет постепенного перехода нижней части сезоннопротаивающего слоя в постоянномерзлое состояние.

Состояние вечной мерзлоты, которое было под замшелыми лесами, восстанавливается через 100—150 лет.

В процессе развития лесной растительности в поймах рек леса заболачиваются, и глубина протаивания почвы уменьшается.

В. Южная часть области вечной мерзлоты

Динамика растительного покрова — ведущий фактор развития и деградации вечной мерзлоты.

Вечная мерзлота формируется на месте таликов вследствие развития специфического растительного покрова.

Возникновение вечной мерзлоты всюду соответствует определенной стадии развития растительности, а именно: лесов со сплошным моховым покровом, темнохвойных сомкнутых лесов, кустарничково-сфагновых болот, осоково-сфагновых болот (на Дальнем Востоке). На участках, где не развиваются отмеченные сообщества (или аналогичные им по воздействию на теплообмен в грунтах), вечная мерзлота не формируется.

Вновь образовавшаяся вечная мерзлота воздействует на дальнейшую динамику растительного покрова, способствуя заболачиванию почвы и формированию болот и торфяников на месте лесов.

Процессу развития растительного покрова сопутствует понижение температуры, увеличение мощности вечной мерзлоты и уменьшение глубины протаивания грунтов.

Завершающим этапам развития растительного покрова соответствуют наиболее низкая температура грунтов, наибольшая мощность вечной мерзлоты и наименьшая глубина протаивания.

Главную роль в динамике вечной мерзлоты играет развитие мхов и обусловленное этим накопление торфа.

После уничтожения мохового покрова и торфа, а также темнохвойных лесов начинается деградация вечной мерзлоты, продолжающаяся десятки, сотни лет, приводящая на некоторых участках к полному вытаиванию грунтового льда.

В процессе восстановления растительного покрова после пожара вечная мерзлота восстанавливается. Восстановление хвойных лесов и редколесий и соответствующего им состояния вечной мерзлоты продолжается в течение многих сотен лет.

Растительный покров — надежный показатель вечной мерзлоты. Вечная мерзлота приурочена к участкам, занятым лесами со сплошным моховым покровом, заболоченными (сфагновыми) редколесьями, болотными сообществами без воды на поверхности, темнохвойными лесами и другими аналогичными сообществами.

Болота с водой на поверхности, лиственные и светлохвойные леса, луга и кустарники без мохового покрова распространены на таликах.

В процессе развития растительного покрова в различных районах на участках, сложенных разными грунтами, формируются одинаковые или очень сходные растительные сообщества (торфяники с однообразным покровом из кустарничков и лишайников, сфагновые болота, заболоченные лиственные редколесья и др.). Это сходство очень затрудняет картирование состава грунтов по аэроснимкам.

Вечная мерзлота очень неустойчива и под влиянием изменений растительного покрова быстро изменяется.

По мере освоения южной части области вечной мерзлоты уничтожение и нарушение растительного покрова будет возрастать, а площадь вечной мерзлоты соответственно уменьшаться.

Глава IV

ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И РАЗВИТИЕ МЕРЗЛОТНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

Динамика растительного покрова, оказывая существенное влияние на процессы промерзания и протаивания грунтов, играет важную роль в развитии форм рельефа, обусловленном этими процессами. Изменения растительности оказывают разное влияние на динамику различных форм рельефа, способствуя развитию одних и замедляя или исключая формирование других.

Из многочисленного семейства мерзлотных форм рельефа рассматриваются немногие, которые исследовались, литературных данных по этому вопросу мало.

КРУПНОБУГРИСТЫЕ ТОРФЯНИКИ

Они широко распространены на севере европейской части СССР и в Западной Сибири. Их генезис будет рассмотрен на основании материалов, полученных в северной тайге Западной Сибири, большая часть которой расположена в пределах Обско-Енисейской провинции крупнобугристых торфяников (Кац, 1946), северная граница которых проходит по р. Оби немного южнее Полярного круга (устье р. Полуй), а на р. Енисей достигает $68^{\circ}30'$ с. ш. Массивы крупнобугристых торфяников встречаются также в равнинной части территории, примыкающей к долине р. Хантайки и в самой долине к западу от Хантайского озера. Южная граница их совпадает с южной границей вечной мерзлоты (линия от Березово на Оби до устья Подкаменной Тунгуски на Енисее).

Крупнобугристые торфяники — более или менее выпуклые образования, высотой от 1 до 11 м, площадью от десятков квадратных метров до десятков гектар. Форма их округлая, эллиптическая, продолговатая или неправильно лопастная. Склоны изменяются от очень пологих до обрывистых. Бугристые торфяники сложены сверху торфом мощностью от 0,5 до 6,0 м (обычно 1—1,5 м), под кото-

рым залегает сильно льдонасыщенное минеральное ядро, состоящее в основном из льда и суглинистого, иловато-суглинистого, реже супесчаного материала. Минеральное ядро помимо льда-цементита и отдельных кристаллов его содержит многочисленные ледяные прослойки, мощность которых достигает нескольких десятков сантиметров и обычно увеличивается книзу, количество прослоек уменьшается в том же направлении.

В 1959 г. на I надпойменной террасе р. Хантайки, в 60 км от ее устья, бурением с извлечением керна ненарушенной структуры было установлено следующее сложение выпуклого торфяного бугра (высота 9 м) (рис. 21).

- 0,0—1,8 м Торф темно-коричневый, мерзлый с глубины 40 см, на глубине 95—105 см — слой льда, льдистость торфяного слоя составляет 80—90% его объема.
- 1,8—5,8 м Песок тонкозернистый, голубовато-серый, пылеватый, с включениями торфа в верхней части, гальки, гравия и валунов — в нижней; лед в виде гнезд кристаллов и прослоек составляет 15—50% объема слоя.
- 5,8—16,2 м Тяжелый серый суглинок, пылеватый, слоистый с голубоватыми прослойками, сильно льдистый, лед распределен неравномерно: в верхней части прослойки, мощностью от 1 до 10 см расположены через каждые 2—5 см, с глубины 15 м расстояние между прослойками льда увеличивается до 5—10 см, а мощность их увеличивается до 20—25 см. Кроме отмеченных встречаются многочисленные прослойки толщиной 0,1—1,0 см, средняя весовая льдистость (в % к влажному грунту) составляет 44%, объемная 70%.
- 16,2—19,5 м Глина серая, тонкослоистая (ленточная), лед в виде прослоек, расположение их то же, что и в нижней части вышележащего слоя, средняя весовая льдистость 37%, объемная 64%.

Только в суглинистом и глинистом слоях данного бугра мощность прослоек льда превышает 8 м. Высокая льдистость выпуклого суглинистого ядра торфяных бугров отмечалась неоднократно в Западной Сибири (Попов, 1953; Константинова, 1963) и на Колском п-ове (Константинова, 1953). На Колском п-ове в районе Мончегорска на берегу Нюдозера при рытье шурфа на торфяном бугре под торфом мощностью 3 м в суглинистом ядре обнаружен слой льда толщиной 1 м. Г. С. Константинова (1963) отмечает: «...для всех торфяных бугров характерно то, что слагающие их грунты содержат большое количество льда (60—90% по объему) в виде частых, мощных прослоек (до 20—25 см), иногда образующих почти сплошное ледяное ядро» (стр. 115).

Бугры обычно безлесны: встречаются лишь отдельные угнетенные лиственницы, кедры и березы, очень редко ели. На вершинах и верхних частях бугров и крутых склонах их преобладает багульник (*Ledum palustre*), часто встречаются брусника, обычные мо-

рошка, водяника (*Empetrum nigrum*), голубика. Общее покрытие травяно-кустарничкового яруса 20—50%. В сплошном напочвенном покрове преобладает ягель (*Cladonia alpestris*), часто встречаются *Cl. rangiferina*, *Cl. amaurocraea*, *Cl. gracilis*, *Cl. cornuta*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*, виды рода *Dicranum*. На пологих склонах бугров в напочвенном покрове преобладают лишайники, отмеченные выше, и сфагновые мхи (преимущественно *Sphagnum fuscum*, *Sph. acutifolium*), количество последних увеличивается по мере движения вниз по склону. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают багульник и голубика (на лишайниковом ковре), морошка и клюква (*Oxycoccus microcarpus*) на подушках сфагновых мхов, часто встречаются водяника, карликовая береза (*Betula nana*), осока (*Carex globularis*), болотный мирт (*Chamaedaphne calyculata*), черника, брусника.

Нижние отрезки пологих склонов бугров заняты олиготрофными сфагновыми болотами. В сплошном напочвенном покрове их преобладает *Sphagnum fuscum*, часто встречается *Sph. acutifolium*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют морошка и клюква (иногда осока), в угнетенном состоянии встречаются все отмеченные виды кустарничков. Основания бугров окаймлены обычно кустарничково-сфагновыми болотами, в травяно-кустарничковом ярусе преобладают различные виды на разных участках: болотный мирт, голубика, карликовая береза, осока, морошка, обильна клюква, иногда водяника, редко встречаются багульник, брусника, черника.

Бугры подобного типа расположены одиночно или группами самых различных размеров и распространены в понижениях мезорельефа на водоразделах и аллювиальных террасах, за исключением пойм. Нередко вершины крупных бугров возвышаются над окружающей территорией водоразделов, занятой редкостойными лесами. Бугры отделены друг от друга понижениями, занятыми различными болотами и водоемами. Нередко болота и водоемы окружают со всех сторон отдельные бугры.

Размеры и форма понижений самые разнообразные. Площадь их нередко превышает территорию, занятую буграми. В понижениях наиболее распространены осоковые, осоково-сфагновые, вахтовые, вахтово-сфагновые, пушицево-сфагновые, кустарничково-сфагновые болота. Под всеми болотами в понижениях вечная мерзлота отсутствует или залегает на большой глубине (несколько метров). Узкие ложбины между буграми часто заняты олиготрофными кустарничково-сфагновыми или сфагновыми болотами, охарактеризованными выше. Под этими болотами залегает вечная мерзлота, глубина протаивания почвы, так же как и на буграх, не превышает 60 см и в среднем равна 40 см.

Подобный комплекс вечномерзлых торфяных бугров и вечномерзлых болот неоднократно характеризовался в литературе как по Западной Сибири (Драницын, 1914; Кузнецов, 1932; Городков, 1928; Кац, 1946, 1948; Попов, 1953; Константинова, 1963 и др.), так

и по районам европейского севера (Танфильев, 1911; Городков, 1932а, Цинзерлинг, 1934; Кац, 1936 и др.) и к востоку от Енисея (Шумилова, 1931).

Довольно полный обзор различных гипотез бугрообразования содержится в монографии Н. И. Пьявченко (1955). Значительная часть исследователей считает, что бугры возникли в результате пучения болот при промерзании в прошлом и в настоящее время не образуются, а находятся в стадии деградации (Сумгин, 1934, 1938; Попов, 1953 и др.). Другие полагают, что они формируются и в настоящее время (Танфильев, 1911; Драницын, 1914; Кузнецов, 1932; Городков, 1932а; Андреев, 1931; Цинзерлинг, 1934; Шумилова, 1931). Для решения этого спорного вопроса необходимо было прежде всего изучить динамику промерзания и протаивания грунтов в процессе развития болотной растительности в настоящее время, а эти данные в литературе отсутствуют.

Наблюдения динамики протаивания и промерзания болотных почв проводились нами в 1950, 1957—1959 гг. в Игарском районе, в 1959 г. в низовьях Хантайки, в 1961 г. на Обь-Надымском междуречье и в низовьях р. Надым. Установили, что в процессе развития болотной растительности условия промерзания и протаивания грунтов не остаются постоянными, а изменяются в определенном направлении. В северной тайге Западной Сибири под любыми водоемами ежегодно слой воды (или воды и грунта), промерзающий за зиму, протаивает полностью в течение некоторой части лета, а за счет тепла, поступающего в остальную часть его, происходит прогревание отложений под днищами водоемов, и если последние мерзлые, то они оттаивают. Вследствие этого под любыми длительно существующими (несколько десятков лет и больше) водоемами вечная мерзлота отсутствует или залегает глубоко.

В ходе развития водно-болотной растительности при зарастании водоемов выделяются два этапа, различающиеся соотношением между процессами промерзания и протаивания почво-грунтов. Первый этап характеризуется преобладанием протаивания над промерзанием (промерзающие в зимние периоды слои почвы протаивают полностью в летние). В течение этого этапа происходит накопление торфа и смена различных типов водно-болотной и болотной растительности. Характерной особенностью болот этого этапа является наличие воды на поверхности почвы, хотя бы в течение некоторой части лета. При зарастании водоемов наблюдается значительное разнообразие как начальных стадий развития водно-болотной растительности, так и последовательных смен одних типов болот другими.

Зарастание и заболачивание водоемов часто протекает следующим путем. Заросли вахты (*Menyanthes trifoliata*) образуют внешнюю полосу (пояс), граничащую с открытой водной поверхностью. Вахта заселяет мелководные (30—60 см) участки водоемов. По мере накопления ила, растительных остатков под зарослями вахты дно водоема повышается и создаются условия для поселения

осока (*Carex rostrata*, *C. aquatilis*), пушиц (*Eriophorum angustifolium*, *E. russeolum*), хвоща (*Equisetum heleocharis*), сабельника (*Comarum palustre*). Вахта постепенно вытесняется отмеченными растениями и продвигается на новые обмелевшие участки водоема. Нередко еще среди зарослей вахты развивается сплошной моховой покров, состоящий обычно из сфагнумов (*Sphagnum dusenii*, *Sph. obtusum*, *Sph. squarrosum*, *Sph. riparium*, *Sph. teres*, *Sph. lindbergii*) или из видов рода *Drepanocladus*. Таким путем вахта сменяется осоковыми, осоково-сфагновыми, осоково-гипновыми, пушицево-сфагновыми, пушицево-гипновыми, сабельниково-сфагновыми и другими болотами. По мере накопления торфа уровень поверхности болота повышается, условия развития водолубивых видов становятся неблагоприятными, поэтому они сменяются растениями, более приспособленными к временному подсыханию поверхности почвы — развиваются мелкоосоково-кустарничково-сфагновые болота. На сплошном покрове из сфагновых мхов (доминирует обычно *Sphagnum balticum*) встречаются *S. angustifolium*, *S. jensenii*, *S. warnstorffii*, развит редкий (покрытие не более 20%) кустарничково-травяной ярус, в котором преобладают осоки (*Carex limosa*, *C. rotundata*), встречаются сабельник, андромеда (*Andromeda polifolia*), болотный мирт, клюква, карликовая береза. Поверхность почвы этих болот большую часть лета не покрыта водой, хотя уровень грунтовых вод находится у самой поверхности. Под отмеченными болотами почва промерзает одинаково, так как состав ее и содержание влаги очень близки. Однако условия протаивания несколько различны. Под сильно обводненными болотами почва протаивает полностью обычно в первую половину лета, а под менее обводненными кустарничково-мелкоосоково-сфагновыми во вторую половину и сезонномерзлые слои сохраняются нередко до конца августа.

Наблюдениями хода протаивания почвы в различных районах северной тайги Западной Сибири установлено, что под любыми болотами с водой на поверхности, так же как и под водоемами, сезонномерзлые слои протаивают полностью в течение некоторой части лета, а в остальную часть его прогреваются нижележащие грунты. Из 310 пунктов, в которых наблюдался ход протаивания болотных почв обводненных участков в 1949, 1950, 1957, 1958, 1959 и 1961 гг., сезонномерзлые слои протаяли полностью в 283 пунктах до 1 августа, а в остальных после 1 августа (Тыртиков, 1963). Ясно, что в подобных условиях вечная мерзлота не может образоваться, а только деградирует. Поэтому в северной тайге Западной Сибири под любыми болотами с водой на поверхности вечная мерзлота отсутствует или залегает глубоко.

Второй этап характеризуется преобладанием промерзания над протаиванием (промерзшие в зимние периоды слои грунтов не протаивают в летние) и формированием вечномерзлых торфяников.

Дальнейшее накопление торфа на кустарничково-осоково-сфагновых болотах способствует усилению развития кустарничков и

они постепенно сменяются кустарничково-сфагновыми болотами. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают карликовая береза, болотный мирт, обильны андромеда, клюква, голубика, морошка, ива (*Salix myrtilloides*), водяника, часто встречаются осока (*Carex limosa*). В сплошном моховом покрове преобладают *Sphagnum angustifolium*, *Sph. warnstorffii*, встречается *Sph. fiscum*. Участки кустарничково-сфагновых болот возвышаются на 30—50 см над уровнем зарастающего водоема или обводненных болот и в течение теплого периода поверхность их не заливается водой. Условия протаивания болотной почвы существенно изменяются в сравнении с соседними участками обводненных болот по следующим причинам. 1. На поверхность болот, покрытых тонким слоем воды, поступает больше солнечной энергии, чем на почву, покрытую сплошным растительным ковром, так как вода пропускает большую часть солнечной радиации (около 90%), а растительность большую часть ее задерживает. 2. Теплопроводность почв обводненных болот значительно больше, чем теплопроводность сфагнового ковра, содержащего большое количество воздуха, кустарничково-сфагновых болот, особенно в сухой период лета. 3. Слой воды на поверхности болота хорошо пропускает коротковолновое излучение солнца и задерживает длинноволновую радиацию земли.

В результате уменьшения притока тепла на участках кустарничково-сфагновых болот промерзшие в зимние периоды слои грунтов не протаивают полностью в летние и образуются перелетки (табл. 76). Особенно массовое образование перелетков происходит после малоснежных зим, когда почва под такими болотами промерзает на 1 м и глубже. Глубина протаивания почвы под кустарничково-сфагновыми болотами не превышает обычно 50 см, поэтому после малоснежных зим образуются перелетки мощностью 50 см и больше. В последующие зимы слои почвы над перелетками не только полностью промерзают, но промерзают также грун-

Таблица 76
Влияние обводненности поверхности почвы сфагновых болот на ход протаивания на междуречье Ярудей-Надым (1961 г.)

Тип болота	Глубина протаивания, см									Количество пунктов наблюдений
	10—11 июля			1 августа			5 сентября			
	средняя	минимальная	максимальная	средняя	минимальная	максимальная	средняя	минимальная	максимальная	
С водой на поверхности	56	40	68	сезонномерзлый слой протаял			—	—	—	6
Без воды на поверхности . . .	25	22	27	33	29	36	45	34	55	5

ты, залегающие ниже перелетков. Таким путем на участках, занятых кустарничково-сфагновыми болотами, формируется вечная мерзлота. Образование вечной мерзлоты в данном случае является неизбежным следствием коренного изменения соотношения прихода и отдачи тепла (промерзания и оттаивания) в почво-грунтах, обусловленном развитием растительности в процессе зарастания водоемов.

Образование вечной мерзлоты вызывает ряд изменений в почвенных условиях болот: понижается температура почвы в течение вегетации; слой торфа, оттаивающий в течение лета, изолируется от грунтовых вод и по мере накопления торфа питательные вещества отлагаются в нем в недоступном для корней состоянии, ибо он почти не разлагается. Следствием прогрессирующего обеднения почвы питательными веществами является угнетение и изреживание кустарничков. В этих новых условиях хорошо растут и развиваются морошка и клюква на ковре, состоящем в основном из *Sphagnum fuscum*. Таким путем кустарничково-сфагновые болота сменяются олиготрофными сфагновыми болотами, характерными для нижних частей пологих склонов торфяных бугров. С поверхности олиготрофных сфагновых болот легко сносится снег вследствие слабого развития кустарничков, поэтому грунты промерзают и охлаждаются интенсивнее, чем на участках кустарничково-сфагновых болот.

Дальнейшее повышение поверхности болот, происходящее как за счет нарастания мхов, так и в результате лучения при промерзании грунтов, приводит к ухудшению условий роста сфагновых мхов вследствие прогрессирующего осушения верхних слоев почвы. Рост сфагновых мхов замедляется, часть их отмирает и поселяются лишайники (*Cladonia alpestris*, *Cl. rangiferina*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata* и др.). В новых условиях начинается разложение торфа лишайниками, грибами и т. п., поэтому питательные качества почвы несколько улучшаются, что благоприятствует развитию кустарничков. Постепенно олиготрофные сфагновые болота сменяются кустарничково-сфагново-лишайниковыми, характерными для пологих склонов торфяных бугров.

В процессе дальнейшего развития кустарничково-сфагново-лишайниковых болот под воздействием неуклонного осушения почвы в результате поднятия поверхности торфяника за счет пучения сфагновые мхи постепенно отмирают, и их место занимают лишайники. Из кустарничков в новых условиях доминирует багульник. Лишайниковая стадия развития болотной растительности является заключительной в северной тайге Западной Сибири.

Очевидно, что по мере преобладания лишайников в напочвенном покрове уменьшается, а затем прекращается накопление торфа, возрастает разложение последнего. На кустарничково-сфагново-лишайниковых болотах торф накапливается медленнее, поэтому и поверхность их повышается медленнее, чем на рядом расположенных участках сфагновых болот. В связи с этим условия обита-

ния растений изменяются на первых также медленнее, чем на вторых.

По мере повышения поверхности сфагновых болот лишайники заселяют их участки. Таким путем кустарничково-сфагново-лишайниковые болота постепенно захватывают повышенные участки олиготрофных сфагновых болот. Последние, в свою очередь, продвигаются на территорию кустарничково-сфагновых болот. В отмеченной последовательности эти типы болот наступают вместе с боковым фронтом промерзания на участки болот предшествующих стадий зарастания водоемов и площадь вечномерзлого торфяника постепенно увеличивается. Это происходит до тех пор, пока вся озерно-болотная котловина не заполнится торфом и не промерзнет.

Процесс промерзания грунтов распространяется не только в стороны, но и вниз. При движении фронта промерзания сверху вниз большое значение в дальнейшем развитии торфяника имеет состав грунтов, залегающих под торфом. В случае, если торф подстилается грубодисперсными (непучинистыми) грунтами (песками, галькой, гравием и т. п.), на месте озерно-болотного понижения образуется плоский торфяник, поверхность которого покрыта кустарничково-сфагново-лишайниковыми сообществами, а на повышениях господствуют багульник и лишайники. Подобные плоские вечномерзлые торфяники широко распространены в северной тайге Западной Сибири. Массивы таких торфяников, занимающие десятки квадратных километров, совсем не взбугренные, наблюдались на междуречьях Ярудей-Надымском, Енисейско-Тазовском, Пуровско-Тазовском. Плоские торфяники преобладают по площади над бугристыми. Они формируются и в процессе заболачивания лесов.

Если торф подстилается тонкодисперсными (пучинистыми) грунтами (суглинками, илами, иловатыми или пылеватыми супесями и т. п.), то при их промерзании создаются благоприятные условия для пучения грунтов. Промерзающие пучинистые грунты болот контактируют снизу и с боков с немерзлыми, насыщенными водой отложениями таликов. Известно (Цытович, 1952; Ананян, 1960), что в подобных условиях влага из таликов мигрирует к фронту промерзания под влиянием постоянно сохраняющегося температурного градиента и, замерзая здесь, образует прослойки льда. Прослойки льда на нижней границе вечномерзлого грунта образуются в том случае, если отток тепла будет равен его выделению при замерзании влаги, мигрирующей к фронту промерзания, и поступлению его из талых слоев, залегающих ниже. Чем дольше сохраняется это равновесное состояние, тем более мощная прослойка льда образуется. Ясно, что в верхних слоях грунта, где довольно заметны колебания температуры, это равновесие часто нарушается, поэтому образуются частые, но небольшие прослойки льда.

По мере движения фронта промерзания вниз колебания температуры ослабевают, отмеченное равновесие сохраняется дольше, и формируются более мощные ледяные прослойки. На значительной глубине его равновесие, вероятно, поддерживается очень долго и

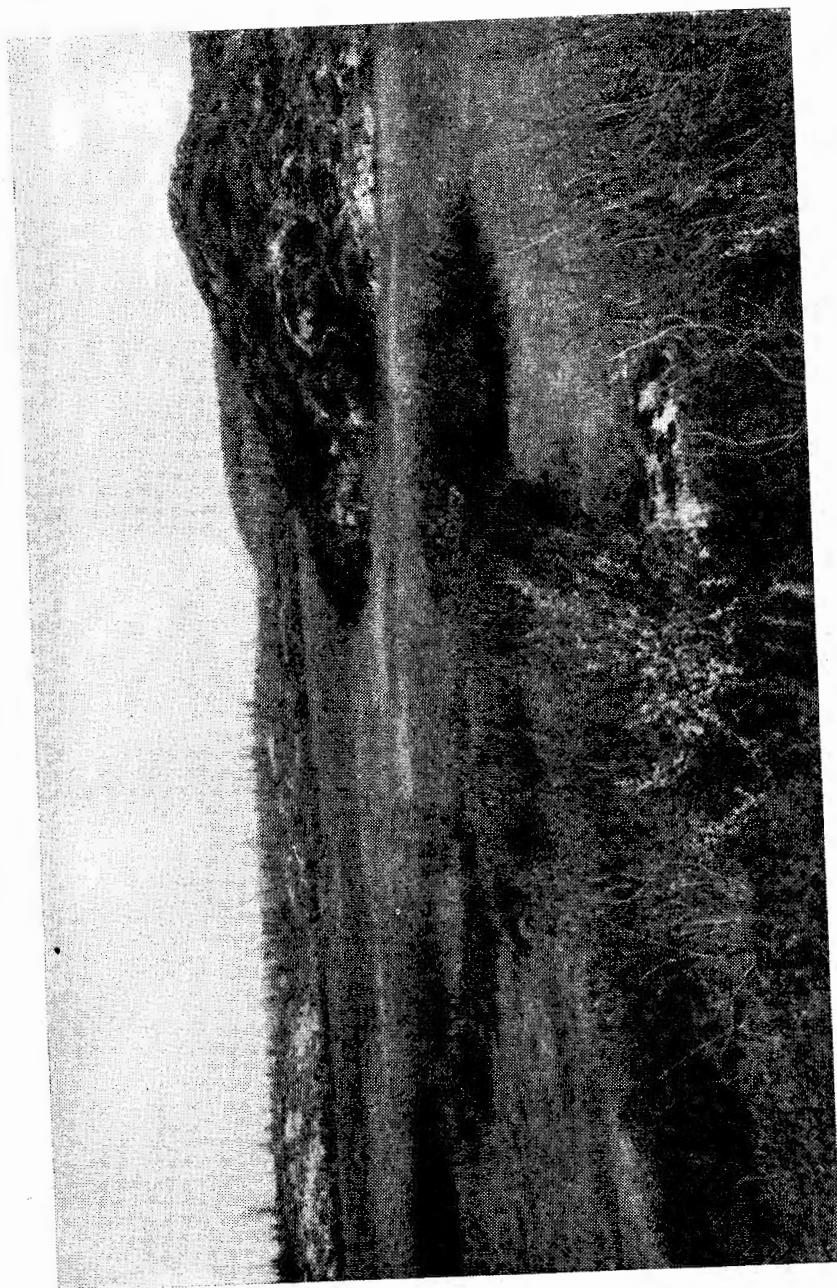


Рис. 21. Торфяной бугор в долине р. Хантайки

образуются крупные прослойки льда мощностью до 1 м. При образовании и увеличении прослоек льда торфяник выпучивается. Интенсивность пучения торфяника помимо состава грунта зависит также от тех условий, в которых оно совершается. В природной обстановке можно отметить два случая.

1. Участок формирующегося вечномерзлого торфяника со всех сторон окружен немерзлыми грунтами. Это наблюдается тогда, когда развитие болотной растительности и накопление торфа наи-

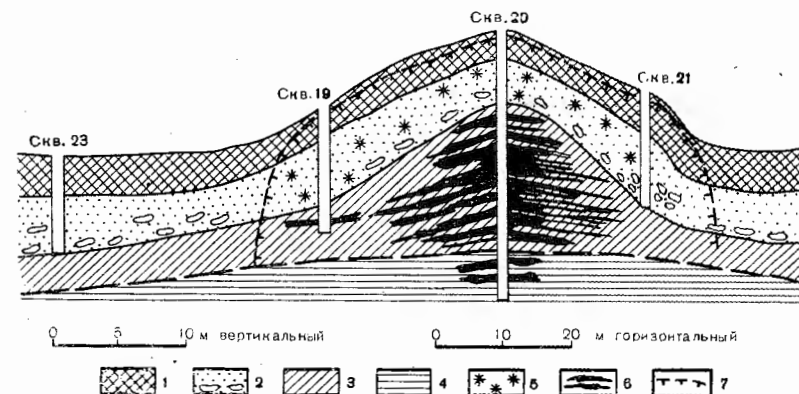


Рис. 22. Разрез мерзлого торфяного бугра и окружающих талых болот в долине Хантайки (по Константиновой, 1963):
1 — торф; 2 — песок с включением гальки; 3 — суглинок голубоватый, слоистый; 4 — глина; 5 — кристаллы и гнезда льда; 6 — прослойки льда мощностью до 20—25 см; 7 — верхняя поверхность вечной мерзлоты

более интенсивно происходит в центральных частях водоемов (болот). В этом случае подток влаги к фронту промерзания будет происходить со всех сторон и снизу, и пучение наиболее интенсивное. В результате формируется отдельный торфяной бугор (рис. 21). Последовательность слоев торфа и минерального грунта в отдельных буграх не нарушена, заметны лишь их дислокации вверх (рис. 22).

2. Последовательно развивающиеся пояса (полосы) болотной растительности наступают на водоем от берегов, сложенных вечномерзлыми грунтами. В этом случае подток влаги к промерзающим грунтам будет лишь с одной стороны и снизу. Повышение поверхности торфяника (вернее склона торфяника) за счет пучения, очевидно, в этом случае будет менее интенсивным, чем в первом. Так, по мере накопления торфа в озерно-болотных понижениях последние промерзают и на их месте образуются выпуклые вечномерзлые торфяники с минеральным сильно льдонасыщенным ядром. В про-

Изменение протаивания, температуры грунтов и мощности вечной мерзлоты в

Стадии зарастания водоемов	Высота над водоемом, м	Дата наблюдений	Грунты
Все болота с водой на поверхности	0,0	—	торф низинных и переходных болот
Кустарничково-сфагновое болото	0,6	9 сентября 1959 г.	0,0—0,9 м—рыхлый неразложившийся кустарничково-сфагновый торф, мерзлый с 35 см; ниже—талый низинный торф до 300 см, под которым песок
Олиготрофное сфагновое болото	1,0	13 сентября 1946 г.	0,0—0,9 м—рыхлый неразложившийся олиготрофный сфагновый торф, мерзлый с 0,4 м; 0,9—2,0 м—низинный темно-коричневый, сильно льдистый торф; 2,0—6,0 м—суглинок серый с зеленоватым оттенком, сильно льдистый, прослойки льда, мощностью до 5—7 см
Кустарничково-сфагново-лишайниковое болото	1,5	16 августа 1959 г.	0,0—1,9 м—слабо разложившийся (степень разложения 5 %) гипновый низинный торф, мерзлый с 0,4 м, сильно льдистый; 1,9—3,6 м—низинный торф (степень разложения 30—70 %) сильно льдистый (льди-стость 50—80 %); 3,6—7,0 м—песок тонкозернистый, серый с голубоватым оттенком, с включением дресвы, гальки, лед в гнездах и прослойках; 7,0—8,7 м—суглинок голубовато-серый с прослойками льда; 8,7—10,0 м—голубовато-серая глина, слоистая с прослойками льда
Кустарничково-лишайниковое болото	9,0	13 августа 1959 г.	0,0—1,8 м—торф темно-коричневый, сильно разложившийся, низинный, мерзлый с 0,4 м (состав и льди-стость грунтов под торфом описаны в начале раздела)

процессе увеличения высоты и площади торфяников усиливается охлаждение грунтов вследствие уменьшения количества снега, и мощность вечной мерзлоты возрастает (табл. 77).

Следовательно, в зависимости от состава минерального грунта, залегающего под промерзающим торфяником, образуется либо плоский торфяник, минеральные слои которого относительно слабо льдонасыщены, либо выпуклый, с сильно льдонасыщенным минеральным ядром. Значение состава подстилающих грунтов для фор-

Таблица 77

процессе формирования крупнобугристых торфяников в долине р. Хантайки

Глубина протаивания, м	Температура в °С на глубинах, м											Мощность мерзлого грунта, м
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	19	
сезонно-мерзлый слой протаивает полностью 0,35	положительная											нет
	положительная											0,5
0,40	—0,2	—0,3	—0,4	—0,4	—0,2							8—10
0,40	—0,3	—0,3	—0,3	—0,3	—0,3	—0,3	—0,3	—0,2	—0,2			12—15
0,40	—1,1	—1,8	—2,1	—2,4	—2,4	—2,3	—1,9	—1,8	—1,5	—1,0	—0,1	20

мирования плоских и выпуклых торфяников было правильно оценено Г. С. Константиновой (1953) и А. И. Поповым (1953), наблюдавшими выпуклобугристые торфяники на суглинках в непосредственной близости с плоскими на песках.

Высота крупнобугристых торфяников также определяется условиями их развития и увеличивается до тех пор, пока увеличиваются прослойки льда и накапливается торф. Образование и увеличение прослоек льда продолжается в течение длительного периода

после смены сфагновых мхов лишайниками и прекращается тогда, когда установится равновесие между приходом тепла к нижнему фронту промерзания из немерзлых слоев грунта и оттоком его вверх. По мере увеличения площади торфяника это равновесие устанавливается позднее, поэтому, увеличиваются продолжительность пучения и высота торфяника.

В более континентальных и северных районах отток тепла будет превалировать над поступлением его к нижней границе промерзания в течение более продолжительного периода, чем в менее континентальных и южных. Поэтому высота торфяников должна увеличиваться по направлению к северу и с усилением континентальности климата. Действительно, наиболее высокие бугристые торфяники встречаются в Игарском районе, самом северном и наиболее континентальном отрезке Обско-Енисейской провинции. В приобье и на европейском севере высота их меньше. Невысокие (до 2,5 м) торфяные бугры распространены в долине р. Таз около пос. Толька, вблизи южной границы вечной мерзлоты.

Основной причиной формирования выпуклого торфяника является пучение в результате образования горизонтальных прослоек льда в минеральном грунте, формирующихся за счет замерзания влаги, мигрирующей из талых слоев, расположенных под торфяником.

Итак, крупнобугристые торфяники формируются в процессе развития болотной растительности в современных климатических условиях северной тайги Западной Сибири. Это развитие неизбежно приводит к преобладанию промерзания над протаиванием.

Развитие растительности при этом идет обычным путем. Эвтрофные болота сменяются мезотрофными, последние — олиготрофными. Характерной особенностью данного развития является кратковременность олиготрофной стадии и малая мощность олиготрофного торфа. Кратковременность олиготрофной стадии является следствием неизбежного формирования вечной мерзлоты в процессе развития олиготрофных болот. Образование вечной мерзлоты на олиготрофных болотах ускоряет изменение экологических условий в сторону осушения болота. В процессе образования и увеличения вечной мерзлоты поверхность болот повышается значительно быстрее, чем на участках олиготрофных болот, на которых грунты немерзлые по следующим причинам:

1. Сфагновый рыхлый торф почти не уплотняется и не разлагается вследствие низкой температуры и самого медленного, незначительного оттаивания почвы. Поэтому верхняя поверхность вечной мерзлоты ежегодно повышается на величину, равную приросту сфагноума.

2. В процессе образования и накопления вечномерзлого слоя происходит пучение (поднятие) поверхности торфяника за счет увеличения объема льда при промерзании насыщенных водой слоев торфа и за счет образования прослоек льда в минеральных грунтах под торфом.

Повышение поверхности болот неблагоприятно отражается на росте и развитии сфагновых мхов. При повышении поверхности олиготрофного болота на 60—100 см над водоемами или болотами с водой на поверхности сфагновые мхи начинают отмирать, сменяясь лишайниками. Если принять, что величина ежегодного прироста сфагновых мхов равна 0,5 см¹, то в этом случае продолжительность олиготрофной стадии не превышает 200 лет. Лишайники постепенно становятся господствующими в напочвенном покрове. По мере смены сфагновых мхов лишайниками торфонакопление замедляется и сменяется разрушением торфа. Лишайники, грибы разлагают в первую очередь рыхлый олиготрофный торф. Последний также измельчается и уплотняется под воздействием ежегодного промерзания и протаивания, пастбы оленей и уничтожается пожарами. Все эти факторы, разрушающие торф, действуют значительно дольше (сотни и тысячи лет), чем период накопления олиготрофного торфа. Поэтому на большей части крупных торфяных бугров, покрытых лишайниками, олиготрофный торф полностью разрушен и разрушается мезотрофный и эвтрофный. Последовательность накопления различных типов торфа и их разрушения отражена в строении торфяников.

Для крупнобугристых торфяников северной тайги Западной Сибири характерна неоднородность состава торфа и степени его разложения. Вершины и верхние части склонов крупных, торфяных бугров сложены сильно разложившимся торфом (землистая масса), под которым (ниже слоя сезонного протаивания) залегает слабо разложившийся торф обводненных болот. На пологих склонах молодых бугров, граничащих с обводненными мочажинами, степень разложения сезоннооттаивающего слоя торфа уменьшается по направлению вниз и изменяется состав слоя. В верхних частях пологих склонов бугров торф менее разложен, чем на вершинах и состоит из растений низинных и переходных болот. В средних частях склонов верхние слои торфа состоят нередко из сфагнумов олиготрофных болот и лишайников, ниже залегает торф обводненных болот. В нижних частях пологих склонов олиготрофный торф достигает наибольшей мощности (до 100 см и больше), однако и здесь он подстилается низинным торфом, отложившимся в обводненных мочажинах. Низкие бугры сложены сверху олиготрофным торфом.

В северной тайге Западной Сибири в настоящее время вечномерзлые торфяники не только формируются, но и разрушаются. Разрушение торфяников, как правило, начинается после нарушения растительного или торфяного покрова (пожары, пастбы оленей). Торфяники интенсивно выпасаются, ибо сплошь покрыты ягелем и на поверхности их мало снега. На чрезмерно выпасаемых участках

¹ Величина прироста занижена по крайней мере вдвое. Даже на вершинах торфяных бугров в районе Игарки прирост торфа равен 0,4 см в год (Кан, 1946). В Калининской области средний прирост *Sphagnum fuscum*—2,88 см в год и даже на осушенном участке достигал 0,97 см в год (Бегак, 1928).

и около стоянок оленеводов растительный покров торфяника часто нацело выбивается (рис. 23). Обнаженная темная поверхность торфа нагревается значительно сильнее, чем под покровом лишайников, и сильно льдистый торф протаивает на 70—80 см (под лишайниками не более 50 см) и дает осадку. В результате этого на поверхности торфяника образуются западинки глубиной 10—20 см, в которых скапливается вода, способствующая также протаиванию почвы. В последующие годы в таких западинках почва протаивает глубже (на 90 см) и дает большую осадку, чем в первый год после нарушения растительности; глубина западинок увеличивается, соответственно и количество воды в них. Вода в западинках не высыхает большую часть лета и способствует еще более интенсивному протаиванию торфа. Под западинками с водой на поверхности торф протаивает на 100—110 см. За счет дальнейшей просадки при оттаивании торфа глубина западинок прогрессивно увеличивается. Зимой в западинках скапливается больше снега, чем на вершинах торфяника и при глубине западинок около 50 см этот слой снега предохраняет слой торфа, протаявший за лето, от полного промерзания. Таким путем между верхней поверхностью вечной мерзлоты и сезоннопромерзающим слоем образуется талый горизонт. В последующие годы накопление тепла в почве западинок увеличивается.

Сезонномерзлый слой торфа в обводненных западинках протаивает полностью уже в первую половину лета, а за счет тепла, поступающего в них во вторую половину, протаивает вечная мерзлота по берегам западин и под ними. В результате подтаивания мерзлых отложений берегов западин начинаются обвалы торфа, обнажаются минеральные сильно льдонасыщенные слои, процесс протаивания их ускоряется и западинки быстро расширяются. На поверхности торфяников образуются мелкие водоемы, глубина которых увеличивается по мере протаивания вечномерзлых отложений на дне их. Вначале водоемы имеют правильную округлую форму, которая по мере расширения и углубления их превращается в овальную. Это изменение формы водоемов является неизбежным следствием неравномерного распределения снега. Господствующие зимой юго-восточные ветры сдувают снег с поверхности торфяника в образовавшиеся понижения, в которых он накапливается на склонах, обращенных на северо-запад и у оснований склонов, экспонированных к юго-востоку, в большем количестве, чем на других склонах. Вследствие этого наименьшее промерзание почвы также происходит на отмеченных наиболее снегозаносимых участках и у оснований этих склонов накапливается больше воды, чем на других.

В результате на этих склонах вечная мерзлота протаивает наиболее интенсивно и термокарстовые западины на торфяниках постепенно вытягиваются в юго-восточном и северо-западном направлении. Термокарст идет и на склонах других экспозиций, но менее интенсивно. Расширение и удлинение таких западин происхо-

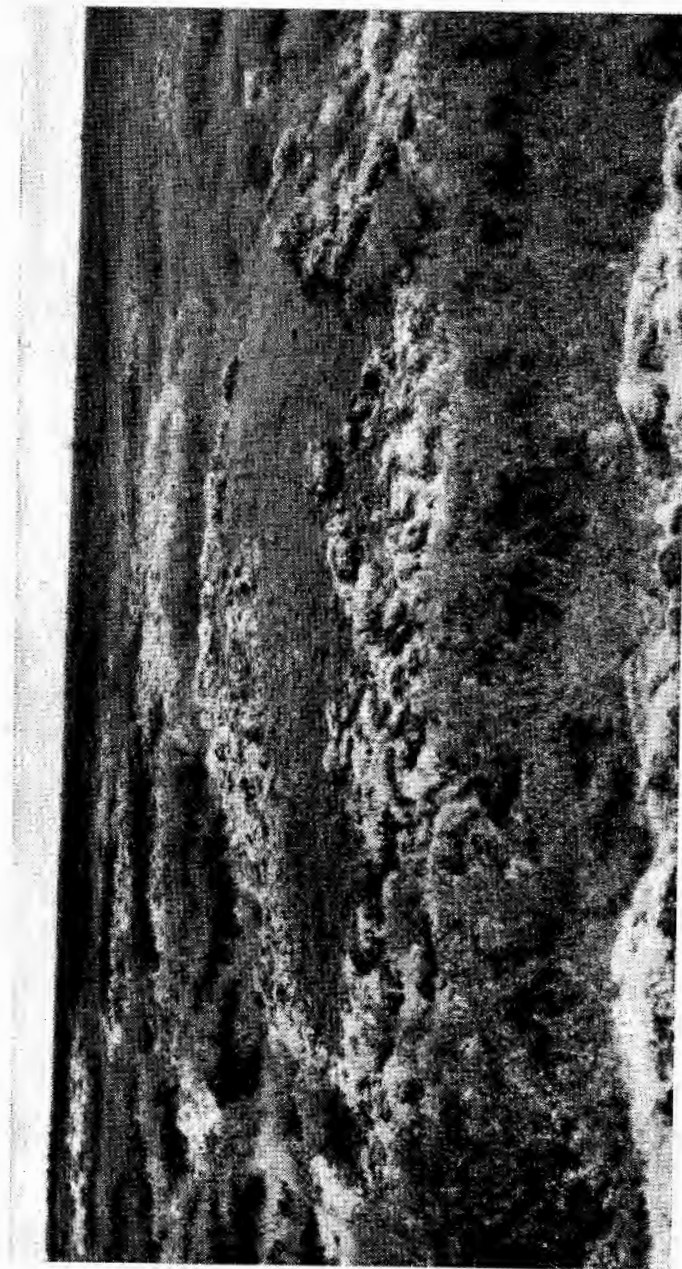


Рис. 23. Развевание торфа — результат чрезмерного выпаса оленей на торфяных буграх в низовье Надыма

дит довольно быстро и наблюдается часто на территории северной тайги Западной Сибири. Удлинение западин ограничивается размерами торфяника, который разрушается термокарстовым процессом, а углубление происходит до тех пор, пока не протает весь мерзлый грунт, дающий осадку. Наконец, один берег термокарстового понижения, разрушаясь, достигает края торфяника, и образуется овраг с торфяными берегами, по которому вода стекает в окружающие озерно-болотные мочажины. Образовавшийся овраг осушается, термокарстовый процесс на берегах его постепенно затухает, так как накопление тепла на дне уменьшается после стока воды, а зимой склоны промерзают сильно, ибо они не защищены от сноса снега. Обвалы торфа прекращаются и склоны оврага зарастают кустарничками, мхами, лишайниками, травами. Лишь на берегу оврага, противоположном его устью (юго-восточном или северо-западном) продолжается термокарст, так как там накапливается много снега зимой. Процесс длится до тех пор, пока не достигнет противоположного устья оврага края торфяника. Таким путем мерзлый торфяник расчленяется в результате термокарста на отдельные останцы-бугры, вытянутые в юго-восточном направлении. Понижения между ними, вытянутые в том же направлении, соединяются и нередко образуют общую дренажную сеть. Наличие вытянутых в юго-восточном направлении торфяных бугров и немерзлых понижений между ними характерно для северной тайги Западной Сибири (рис. 24).

Конечно, есть и отступления от этого общего правила, например, в долинах рек, а также в понижениях между холмами, где изменяется направление господствующих зимой ветров. Торфяные бугры и понижения между ними могут быть вытянуты в любом направлении, но оно обычно соответствует направлению господствующих зимой ветров. Вероятно, и в других областях распространения крупнобугристых торфяников бугры вытянуты в направлении господствующих зимой ветров.

Вытянутые в одном направлении бугры и понижения между ними нередко вводили исследователей в соблазн приписать эрозионному процессу решающую роль в расчленении торфяников (Kihlman, 1890; Пьявченко, 1955). В действительности же эрозия не играет и не могла играть существенной роли в этом процессе. Необоснованность эрозионной теории формирования торфяных бугров фактическим материалом достаточно полно показана в статье Н. Я. Кац (1956), а также в работах Г. С. Константиновой (1953), А. И. Попова (1953). Следует лишь добавить, что в монографии Н. И. Пьявченко (1955) все разрезы и описания торфяников относятся к плоским торфяникам, не имеющим выпуклого сильно льдонасыщенного минерального ядра. Однако и плоские вечномёрзлые торфяники, расположенные в понижениях, несомненно, были бы затоплены в тот гипотетический период таяния ледников, о котором пишет Пьявченко, и мерзлый маломощный торф их протаял бы полностью прежде, чем образовалась дренирующая

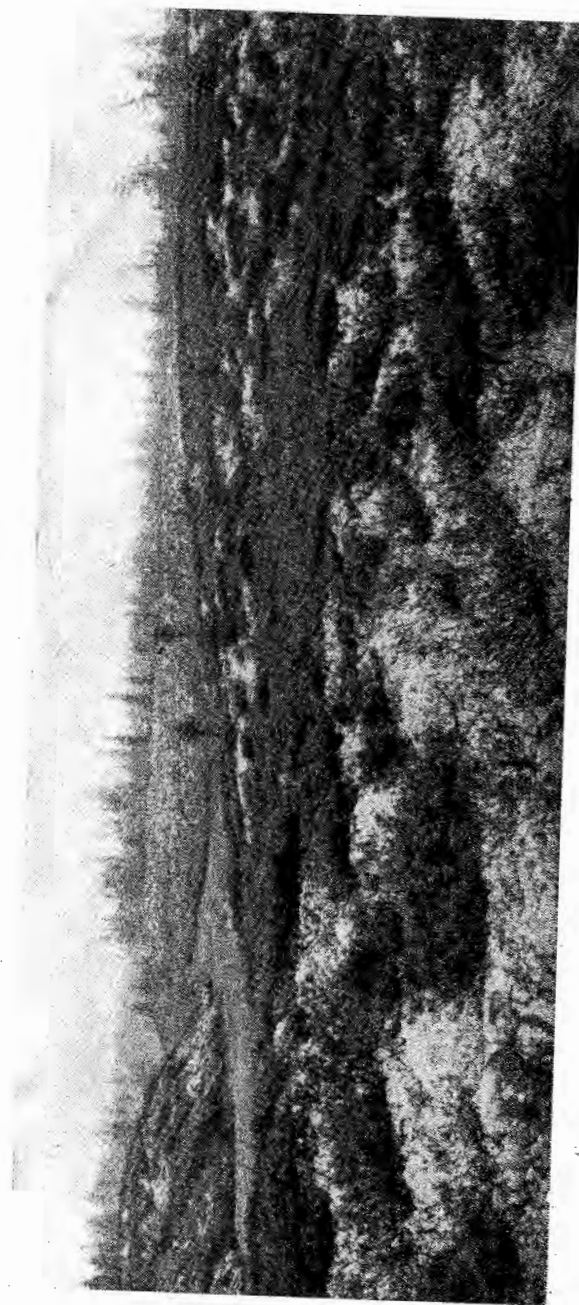


Рис. 24. Торфяные бугры и понижения между ними, вытянутые в северо-западном направлении, в районе Игарки

сеть, в которую могла бы стекать вода из понижений, занятых торфяниками. Ничтожное значение эрозии в расчленении мерзлых торфяников признают почти все исследователи, отводя решающую роль в этом процессе термокарсту.

Особенно интенсивно разрушаются торфяные бугры после пожаров. На повышениях микрорельефа торфяников, где торф более сухой, он выгорает глубже, чем в увлажненных понижениях. В результате образуются углубления на поверхности торфяника, заполняющиеся водой и глубоко протаивающие. Нередко при повторных пожарах на вершинах и крутых (сухих) склонах торф выгорает полностью и обнажаются льдистые минеральные грунты, быстро протаивающие и дающие значительную осадку при протаивании. На сильно выгоревших участках через несколько лет после пожара образуются термокарстовые водоемы, расчленяющие торфяник на отдельные бугры-останцы. Нередко после пожаров мерзлые торфяники полностью разрушаются и на их месте возникают водоемы или болота.

Подобным же образом после нарушения растительности расчленяются на отдельные бугры-останцы и плоские мерзлые торфяные массивы. При этом также образуются бугры, но высота их обычно меньше, чем после расчленения крупнобугристого торфяника. В случае разрушения термокарстом плоских торфяников, содержащих жилы льды, образуются бугры-останцы одинакового размера, расположенные в шахматном порядке.

Торфяники, на которых растительность и торф не нарушены пожарами, пастьбой, обычно не разрушаются. Однако на вершинах крупнобугристых торфяников торф медленно разлагается под воздействием лишайников, грибов и т. п. Верхняя поверхность вечной мерзлоты при этом понижается на величину разрушенного слоя торфа и, после того как мощность торфа будет меньше глубины сезонного протаивания, начнется протаивание сильно льдистых минеральных отложений. При их протаивании происходит осадка и образуются западины, в которых скапливается вода, и начинается обычное разрушение торфяника термокарстовым процессом. Этот очень длительный процесс естественной деградации крупнобугристых торфяников нельзя наблюдать непосредственно.

Озера и болота, образовавшиеся после разрушения мерзлых торфяников, вновь зарастают. В процессе их зарастания снова неизбежно формируются мерзлые торфяники. Формирование и деградация мерзлых торфяников обычно протекают на одном озерно-болотно-торфяном массиве.

Изложенные материалы свидетельствуют о сложном процессе формирования, развития и деградации мерзлых торфяников, который наблюдается в настоящее время в северной тайге Западной Сибири.

Для образования крупнобугристых торфяников необходимо:

1. Формирование вечной мерзлоты на таликах в процессе развития болотной растительности.

2. Наличие пучинистых грунтов под промерзающим торфяником.

3. Длительный контакт промерзающего пучинистого грунта с талыми отложениями, залегающими ниже фронта промерзания, из которых влага может мигрировать к промерзающим слоям.

На большей части севера Сибири и Якутии талики занимают небольшую площадь под водоемами. При этом участки несквозных таликов по берегам заболачивающихся водоемов промерзают полностью еще под болотами, поверхность которых не возвышается над водоемом, либо возвышается всего на несколько десятков сантиметров. После промерзания талика образование горизонтальных прослоек льда в минеральном грунте, подстилающем торфяник, и обусловленное этим пучение торфяника, очевидно, исключено.

На большей части севера Сибири и Якутии мерзлые пучинистые грунты под формирующимися торфяниками непосредственно примыкают к таликам, расположенным под незаросшими участками озер, однако заметного пучения и образования бугров не наблюдается. В этих условиях формируются только плоские торфяники. Это свидетельствует о том, что бугры возвышаются в процессе образования горизонтальных прослоек льда, формирующихся за счет замерзания влаги, мигрирующей из талых слоев, расположенных под торфяником. По мере обезвоживания талых слоев, контактирующих с прослойками льда под торфяником, осуществляется подток воды из расположенного рядом озера или болота.

Сочетание всех необходимых условий для формирования крупнобугристых торфяников в настоящее время имеется в северной тайге Западной Сибири, в пределах указанных границ в лесотундре и южной части тундры европейского севера, к востоку от Енисея в пределах зоны крупнобугристых торфяников, выделенной Н. Я. Кац (1948). Несомненно также, что все условия для их образования имеются на некоторых участках в южной части области вечной мерзлоты Прибайкалья, Забайкалья, Южной Якутии, Дальнего Востока и Камчатки. Однако в этих районах вследствие слабого развития рыхлых тонкодисперсных отложений крупнобугристые торфяники редки и встречаются преимущественно в долинах рек и озерно-болотных котловинах (Алданское плоскогорье, Камчатка). Таким образом, крупнобугристые торфяники образуют почти непрерывную зону шириной в несколько сотен (до 500 и более) километров вдоль всей южной окраины области вечной мерзлоты. Южная граница этой области совпадает с южным пределом крупнобугристых торфяников.

Наличие древних крупнобугристых торфяников наряду с более молодыми и вновь формирующимися в пределах северной тайги Западной Сибири (Константинова, 1963) свидетельствует об относительной неизменности условий развития вечной мерзлоты данного района, по крайней мере в течение последних тысячелетий. Находки крупнобугристых торфяников к северу от области,

в которой в настоящее время имеются все условия для их формирования (талики под обводненными болотами), были бы неоспоримыми свидетелями иных условий образования и развития вечной мерзлоты в прошлом.

ОКОЛОСТВОЛЬНЫЕ ВЗБУГРЕНИЯ

Взбугрения формируются в процессе пучения при замерзании влаги, мигрирующей от таликов к вечномерзлым грунтам, широко распространены в лесотундре и северной тайге Западной Сибири на лесных участках. Они развиваются на суглинистых, пылеватых грунтах. Высота их 0,2—1,5 м, диаметр 5—15 м, форма в плане округлая, округло-лопастная или неправильно-эллиптическая. На высоких взбугрениях обычно растут отдельные старые крупные деревья (или их группы), стволы некоторых из них разорваны у основания (рис. 25). Характерно наличие торфянистого горизонта, покрытого сплошным слоем мха или опада хвои (под кедрами и елями).

Взбугрения окружены понижениями шириной от 2 до 15 м с влаголюбивой растительностью, часто заболоченные, иногда с водой. Переход от взбугрений к понижениям обычно плавный, но четкий (речь идет о высоких взбугрениях), лишь некоторые склоны крутые. Взбугрения наиболее четко выражены в редкостойных лесах. Исследованиями в районе Игарки установлена закономерная взаимосвязь динамики лесной растительности после пожара, когда наблюдаются изменения условий промерзания и протаивания почв, и образованием взбугрений. После лесного пожара, уничтожившего торфянистый слой, обнаженная почва протаивает и промерзает довольно равномерно (на одинаковых элементах рельефа).

Развивающийся подрост березы, лиственницы, ели и кедра вместе с высоким травостоем (преобладают вейник — *Calamagrostis Langsdorffii*, кипрей — *Chamaenerion angustifolium*) в первые годы после пожара, а впоследствии березняк-жердняк с подростом лиственницы, ели и кедра, под пологом которого также преобладают травы (вейник, хвощи — *Equisetum pratense*, *E. silvaticum*, *E. scierpoides* и др.), способствуют равномерному распределению снега и, следовательно, еще большему однообразию условий промерзания. Протаивание почвы по мере увеличения сомкнутости растительности несколько замедляется, но в этот период сезонно-мерзлый слой протаивает полностью и происходит протаивание верхних слоев вечной мерзлоты (табл. 78).

В районе Игарки береза в возрасте 100—150 лет поражается сердцевинной гнилью и постепенно отмирает. Березовый лес сменяется лиственничным (или еловым) с березой во II ярусе. Лиственницы или ели (возраст их 150—200 лет), высота 15—25 м, диаметры стволов 20—40 см, образуют верхний древесный ярус, во II ярусе высотой 3—10 м преобладает береза, встречается кедр. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают брусника, голубика,

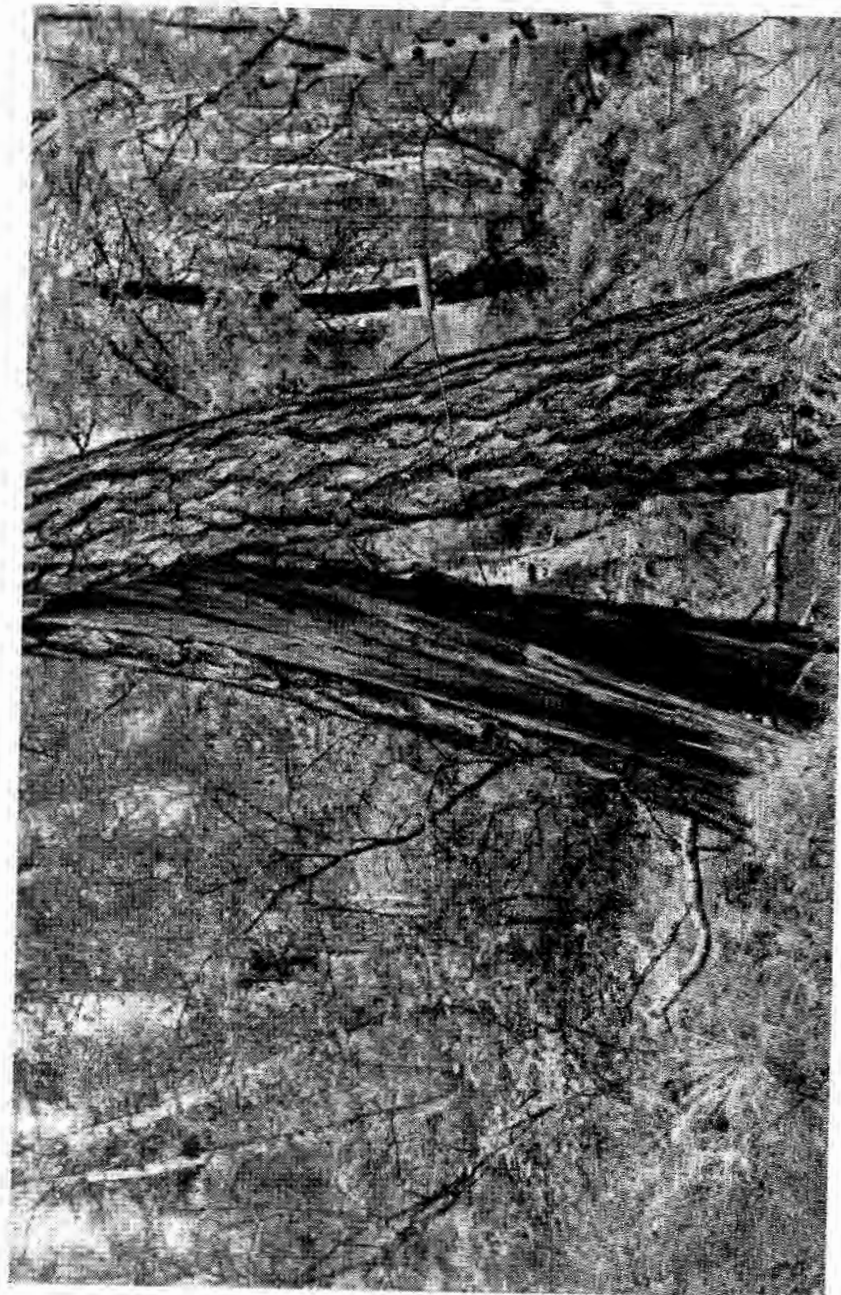


Рис. 25. Ствол лиственницы, разорванный морозом и солифлюкцией, в районе Игарки

Изменение глубины протаивания и промерзания почв под крупными деревьями и на прогалинах в процессе восстановления и развития леса после пожара в районе Игарки

Стадии восстановления и развития леса	Сомкнутость крон	Мощность торфянистого горизонта, см		Глубина, см	
		под деревьями	на прогалинах	протаивания	
				на прогалинах под деревьями	промерзания на прогалинах
Березняк с подростом листвен- ницы, ели и кедра (возраст до 80—100 лет)	0,5—0,8	нет	нет	сезонномер- злый слой протаивает полностью	меньше воз- можной глу- бины прота- ивания
Зелено-мощный лиственный или еловый лес (возраст 150—200 лет)	0,4—0,6	10—15	5	50—80	то же
Заболоченный лиственный или еловый лес	0,3	25—30	20—25	40—60	сезонноталый слой промер- зает полно- стью
Заболоченное редколесье	0,1—0,2	30—50	30—50	30—60	то же

багульник, осока (*Carex globularis*), часто встречаются княженика (*Rubus arcticus*), сердечник (*Cardamine macrophylla*), хвощи (*Equisetum pratense*, *E. scirpoides*), вейник, мятлик (*Poa pratensis*). В сплошном напочвенном покрове доминируют зеленые мхи.

Расстояния между отдельными крупными хвойными деревьями или их группами достигают 10—20 м. В таком лесу создаются условия неравномерного промерзания и протаивания почвы. Под хвойными деревьями быстрее, чем на прогалинах, накапливается опад и формируется торфянистый горизонт. Нарастающие толстые радиально расходящиеся от стволов корни повышают также (на несколько десятков сантиметров) уровень поверхности под ними по сравнению с прогалинами. Таким путем под хвойными деревьями формируются начальные взбугрения. В редкостойных лесах снег частично сносится с подобных придеревных повышений и отлагается на прогалинах; под кедрами и елями снега вообще меньше, чем в промежутках между ними. Около стволов в редкостойных лесах часто наблюдаются воронки выдувания. Вследствие меньшей мощности снега почва под крупными хвойными деревьями промерзает быстрее и глубже, чем на прогалинах.

Летом под деревьями почва протаивает медленнее (вследствие большей мощности торфянистого слоя, корней, затенения и т. п.), чем на прогалинах; сезонномерзлый слой почвы не успевает протаять полностью, и талик под ними промерзает. По мере промерзания талых слоев под взбугрениями создаются благоприятные условия для подтока влаги из понижений под взбугрениями. Влага, по-видимому, непрерывно мигрирует от талых слоев под взбугрениями к мерзлым ядрам взбугрений вследствие постоянного наличия разности температур между контактирующими талыми и мерзлыми грунтами. Эта влага замерзает, образуя ледяные прослойки взбугрений и выпучивает последние.

Таким путем высота взбугрений медленно увеличивается. По мере увеличения высоты усиливается охлаждение грунтов взбугрений. При замерзании влаги под взбугрениями формируются все более увеличивающиеся ледяные прослойки (рис. 26). Под действием разрастающихся ледяных включений верхний слой почвы, покрывающий их, все больше выгибается, растягивается и растрескивается (Достовалов, 1957). Так как наименьшая глубина протаивания наблюдается непосредственно под стволами крупных деревьев, почва под ними быстрее промерзает и сильнее охлаждается, чем на прилегающих участках взбугрений, и под ними возникают наибольшие изгибающие напряжения и разрывы верхних слоев почвы (рис. 27). Корни деревьев прочно вморожены в почву, и при разрывах верхних слоев ее возникают разрывающие напряжения между отдельными участками корневых систем, раскалывающие нижние части стволов.

Формирование и развитие взбугрений приводит к существенным различиям в глубине залегания верхней поверхности вечной

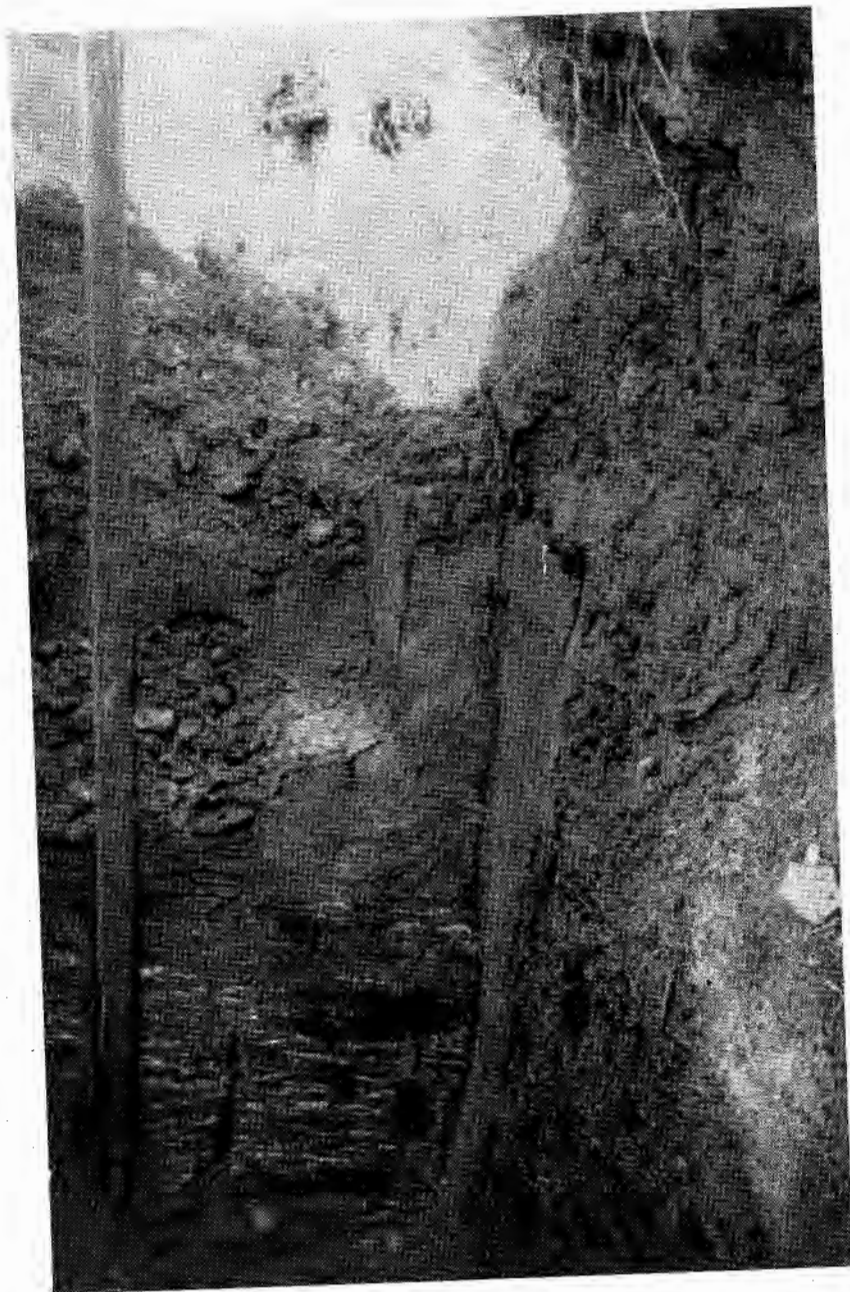


Рис. 26. Горизонтальные прослойки льда в суглинках взбугрения

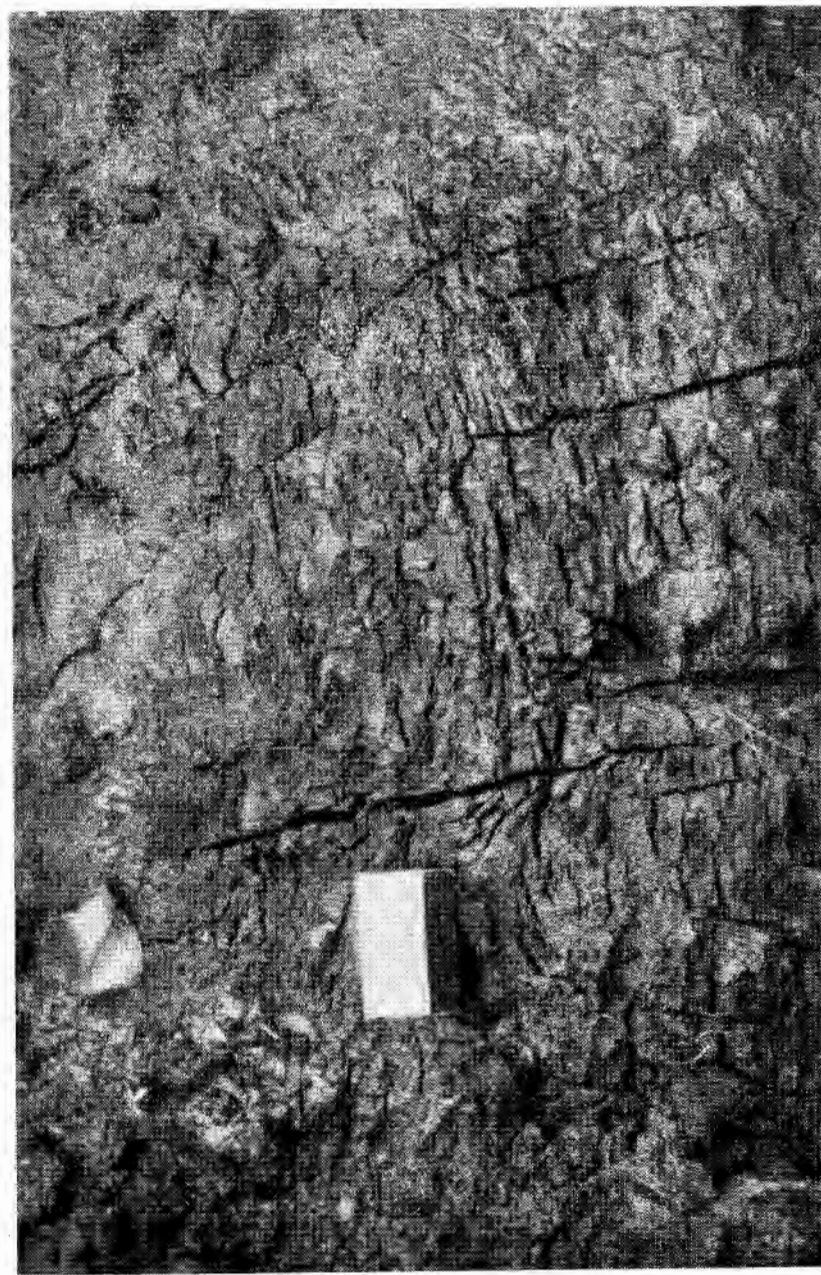


Рис. 27. Вертикальные трещины со льдом в грунте взбугрения (спичечная коробка для масштаба)

мерзлоты на разных участках. На взбугрениях она залегает на глубине 0,5—1,0 м, а в понижениях между ними — на глубине 2,0—6,0 м. Таким путем создается значительный уклон верхней поверхности мерзлого грунта (рис. 28).

При сезонном протаивании почвы на взбугрениях над мерзлым слоем образуется часто переувлажненный слой (плывун), поэтому создаются очень благоприятные условия для движения почвы в этот период. Мощная корневая система деревьев, кустарничков и трав, сплошной ковер мхов вместе с торфянистым горизонтом почвы препятствуют этому движению. Трещины в верхних слоях почвы и разрывы стволов деревьев сильно ослабляют сцепление почвы.

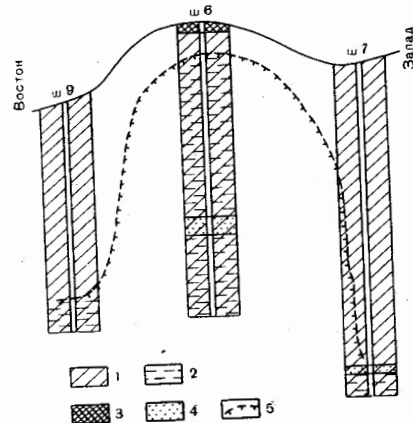


Рис. 28. Разрез взбугрения:
1 — суглинок; 2 — прослойки льда;
3 — торфянистый слой; 4 — песок;
5 — верхняя поверхность вечной мерзлоты

По мере увеличения высоты взбугрений и крутизны их склонов возрастает уклон скользящей поверхности (см. рис. 28), возникают все более благоприятные условия для скольжения почвы. Крутизна уклона скользящей поверхности и уклонов взбугрений зависит от общего уклона поверхности участка. На крутых склонах они больше, чем на пологих и горизонтальных участках. Поэтому наиболее заметно движение почвы на высоких взбугрениях, расположенных на крутых склонах, там часто наблюдаются оползни. При движении почвы увлекается часть корневой системы дерева, расположенная ниже трещины, в то время как другая часть остается неподвижной, и дерево постепенно расщепляется от основания к вершине.

Увеличение высоты взбугрений создает также все большие различия в почвенных условиях между ними и понижениями. На взбугрениях верхние слои почвы сильнее высыхают, а в понижениях нередко застаивается вода. Рост мхов на взбугрениях замедляется, на них поселяются лишайники (*Cladonia rangiferina*, *Cl. alpestris*, *Peltigera aptosa*), в то время как в понижениях — влаголюбивые мхи (*Aulacomnium palustre*, *Camptothecium trichoides*, *Sphagnum girgensohnii*, *Sph. angustifolium*).

В понижениях интенсивно накапливается торфянистый слой и развиваются мхи, при этом протаивание почвы настолько замедляется, что сезоннопромерзающий слой не протаивает полностью в теплый период и начинается промерзание таликов. После промерзания таликов сколько-нибудь существенная миграция влаги к взбугрениям невозможна и увеличение размеров их прекращается.

По мере накопления торфяного слоя ухудшаются питательные свойства почвы, аэрация, понижается ее температура в течение вегетации и т. п., рост деревьев замедляется, старые крупные деревья постепенно отмирают и редкостойный лиственный или еловый лес сменяется заболоченным редкостойным лиственным (редко еловым) лесом с примесью ели и кедра (рис. 29). В древостое преобладают сильно угнетенные лиственницы высотой 5—12 м, диаметры стволов их 8—30 см, стволы сильно сбежистые, кроны редкие, ветви покрыты лишайниками. В сплошном напочвенном покрове на взбугрениях преобладают лишайники (*Cladonia alpestris*, *Cl. rangiferina*), в понижениях — мхи (*Sphagnum girgensohnii*, *S. angustifolium*, *Camptothecium trichoides*, *Aulacomnium palustre*, *Polytrichum strictum*, *P. commune*). В результате накопления торфа и прогрессивного уменьшения глубины протаивания почвы движение грунта на их склонах также замедляется.

В лесу происходит дальнейшее накопление торфа в понижениях между взбугрениями за счет нарастания сфагновых мхов, постепенно захватывающих также нижние части склонов взбугрений. Обеднение почвы питательными веществами благоприятствует развитию олиготрофных сфагновых мхов в понижениях (*Sphagnum fuscum*, *Sph. angustifolium*). Мхи постепенно заполняют понижения между взбугрениями, погребая нижние части последних, еще более угнетают древостой, который медленно отмирает, в то время как подрост крайне угнетен.

Лес сменяется заболоченным сфагново-лишайниковым лиственным редколесьем (рис. 30). Лиственницы высотой до 10 м, почти без крон, образуют редкое насаждение, в котором до 30% сухих стволов, встречаются также отдельные экземпляры берез, кедров и елей. В сплошном напочвенном покрове доминируют лишайники на повышениях — взбугрениях, а в понижениях — сфагновые мхи. Высота взбугрений за счет заполнения торфом и мхами понижений постепенно уменьшается.

После выгорания леса и торфянистого слоя глубина протаивания почвы на взбугрениях увеличивается, верхние слои вечномерзлого грунта протаивают и дают осадку, в результате высота взбугрений уменьшается.

Таким образом, в процессе развития лесной растительности создаются условия неравномерного промерзания и протаивания грунтов, приводящие к формированию взбугрений. В конечном итоге развитие растительности приводит к прекращению процессов пучения взбугрений и к выравниванию поверхности.

Для формирования взбугрений необходимы следующие условия.

1. Неравномерное промерзание и протаивание грунтов.
2. Наличие тонкодисперсных (пучинистых) промерзающих грунтов над таликами или окруженных таликами, из которых влага может поступать под промерзающие участки по мере обезвоживания слоев, контактирующих с образующимися прослойками льда.



Рис. 29. Угнетенный редкостойный лес, сменивший высокоствольный, в районе Игарки



Рис. 30. Сфагново-лишайниковое лиственничное редколесье в районе Игарки

В области редкостойных лесов Западной Сибири условия благоприятны для формирования взбурений, так как здесь при развитии лесной растительности обычно под крупными деревьями или группами их почва промерзает сильнее, а протаивает медленнее, чем на прогалинах, на последних грунты талые в течение многих десятков лет. В Западной Сибири взбурения с разрывами стволов деревьев наблюдались в Игарском районе повсюду — от Игарки до р. Хантайки, а также в низовьях Надыма. Судя по материалам В. Н. Андреева (1962), наблюдавшим подобные взбурения в Норильском районе, они должны встречаться и в редкостойных насаждениях лесотундры Западной Сибири.

В Восточной Сибири подобные взбурения не наблюдались. На большей части этой территории протаявший за лето слой почвы быстро промерзает в начале зимы при очень низких температурах вследствие отсутствия или малого количества снега. Быстрое промерзание, особенно при низкой температуре, не благоприятствует миграции влаги (Цытович, 1952). В процессе динамики лесной растительности в Восточной Сибири, как правило, не формируются талики, при неравномерном промерзании которых вода могла бы мигрировать к промерзающим участкам. Лишь вблизи южной границы области вечной мерзлоты можно ожидать развитие подобных взбурений, особенно там, где выпадает много снега. Вероятно, что они распространены и на Камчатке, и на Аляске, где «активность грунта на границе леса отмечается ...расщепленными основаниями деревьев, растущих на неустойчивом грунте...» (Сигафус и Голкинс, 1955).

БОЛОТНЫЕ БУГРЫ ПУЧЕНИЯ

Они характерны для северной тайги Западной Сибири, формируются в болотистых понижениях. Высота их до 1,5 м, ширина до 15 м, длина достигает нескольких десятков метров.

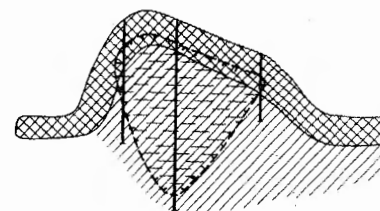
С поверхности они сложены осоково-сфагновым, осоковым, пушицево-сфагновым торфом низинных и переходных болот, под которым залегают вечномерзлые суглинки (рис. 31). Наиболее крупные из них покрыты подростом березы, кипреем, вейником.

Невысокие бугры не имеют почти живой растительности, и поверхность их покрыта мертвыми осоками и другими травами, а также мхами низинных и переходных болот, наиболее низкие покрыты отмирающими (засыхающими) осоками и мхами низинных и переходных болот. Эти бугры формируются на участках болот, с которых зимой сносится снег. На этих участках почва промерзает глубже, чем на соседних, где больше снега, при промерзании она выпучивается, образуется небольшое (несколько десятков сантиметров) повышение, вытянутое по направлению господствующих ветров (рис. 32). Если глубина промерзания невелика (не больше 1 м), то промерзший слой почвы протаивает к осени и происходит просадка повышения. При большей глубине промерзания мерзлый

слой не протаивает полностью и первоначальное повышение, несколько просевшее, сохраняется до начала следующего периода промерзания. С этого повышения снег сносится и оно промерзает глубже, чем в предшествующий год, высота его увеличивается. К мерзлому ядру повышений, сформировавшемуся таким путем, начинает мигрировать влага из окружающих таликов и, замерзая, выпучивать его еще больше.

Охлаждающее влияние повышений распространяется не только вниз, но и в стороны; поэтому талые слои, примыкающие к мерзлому ядру повышений, постепенно промерзают и выпучиваются, увеличивая ширину повышения. В результате многократного повторения этого процесса среди болота возникает типичный бугор пучения (рис. 33). Однако в северной тайге Западной Сибири подобные бугры существуют недолго.

Быстрое (в течение нескольких лет) образование бугров¹ приводит к резкой смене условий существования растительности. Болотная растительность (осоки, сфагновые мхи) быстро отмирают. На обнаженном торфяном субстрате поселяются сначала кипрей (*Chamaenerion angustifolium*) и вейник (*Calamagrostis Langsdorffii*), а затем береза (*Betula pubescens*) (см. рис. 33). Береза растет и сплошная поросль из нее быстро покрывает бугор. Сплошные заросли березы изменяют условия снегоотложения на бугре. Снег начинает накапливаться на бугре, особенно на северных и западных склонах, у оснований южных и восточных склонов. Накопление снега на этих участках замедляет промерзание и охлаждение грунтов, сезонноталый слой не промерзает полностью на них, а летом промерзший и слабоохлажденный почвенный слой протаивает полностью, начинается постепенное протаивание мерзлого ядра, сопровождающееся просадками бугра, обвалами торфа. Постепенно бугор разрушается и о его былом существовании свидетельствует полоса молодых засохших берез среди болота. Судя по возрасту березняка, подобные бугры среди болот существуют несколько десятков лет.



1 — торф; 2 — суглинок; 3 — суглинок с включением льда; 4 — граница вечной мерзлоты

Рис. 31. Разрез болотного бугра пучения.

1 — торф; 2 — суглинок; 3 — суглинок с включением льда; 4 — граница вечной мерзлоты

ТУНДРОВЫЕ БУГРЫ

Бугры высотой до 80 см занимают значительную площадь в тундре, формируя особый ландшафт, известный под названием

¹ О быстром образовании бугров свидетельствует отсутствие растительности на них или очень слабое ее развитие, несмотря на благоприятные почвенные условия.

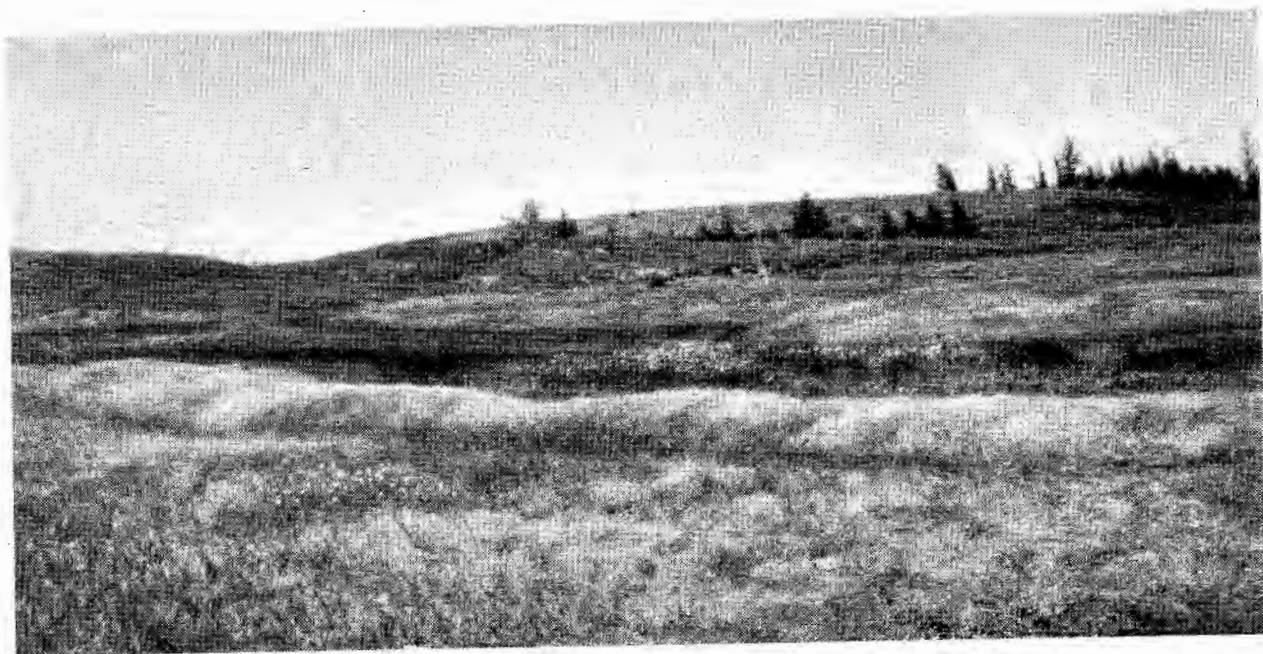


Рис. 32. Повышение на болоте, вытянутое в направлении господствующих зимой юго-восточных ветров в низовье р. Надыма



Рис. 33. Бугор пучения на болоте в районе Игарки

«бугристой тундры». Подобные бугры наблюдались нами на плоских, слабодренированных участках водораздела Ярудей-Надым. Бугры округлой, эллиптической или лопастной формы (диаметр их 1—3 м), занимают до 50—60% поверхности.

Межбугровья обычно заболочены, иногда в них встречаются пятна обнаженной почвы. На буграх преобладают кустарничковые, кустарничково-травяные, кустарничково-моховые и кустарничково-лишайниковые сообщества, в межбугровьях также обычны фрагменты различных болотных ассоциаций. Бугры сложены сверху торфом различного состава, под которым залегают суглинки, пылеватые супеси, иногда переслаивающиеся с тонкозернистыми песками, мощность торфа 5—60 см. Понижения также обычно сложены сверху торфом, под которым залегают суглинки, пылеватые супеси, но часто торфянистые слои в них отсутствуют и минеральные слои почвы выступают на поверхность или покрыты слоем воды.

Подобные бугры наблюдались О. А. Полинцевой и Е. Н. Ивановой на Кольском п-ове (1936), в районе Воркуты (1952) и на п-ове Ямал (1962).

Большинство исследователей (Сукачев, 1911; Сумгин, 1931; Полинцева, Иванова, 1936; Тютюнов, 1953) считают, что бугры образовались в результате пучения при промерзании почв, при этом в первую очередь необходимо неравномерное промерзание почв на различных участках тундры и наличие пересыщенных влагой промерзающих горизонтов. Полинцева и Иванова (1936), Тютюнов (1953) отмечают, что растительный покров играет решающую роль в создании условий неравномерного промерзания. Участки с наиболее пышным растительным покровом, под которым мощность торфянистого горизонта больше, промерзают медленнее тех, где растительный покров редкий или вовсе отсутствует. Иванова и Полинцева (1952) считают, что под пологом карликовой березы создаются особо благоприятные условия для роста мохово-кустарничкового покрова и накопления торфяного слоя.

Общая мощность органической массы непосредственно около кустарников значительно больше, чем в промежутках между ними, что приводит к разновременному замерзанию почвы под разными растительными группировками. Пересыщенные влагой нижние горизонты почвы, сжимаемые сверху нарастающей мерзлой коркой, выпучивают наиболее слабо промерзшие участки, расположенные под кустарниками. Этот процесс продолжается многие годы, высота выпучиваний увеличивается, таким путем под кустарниками формируются бугры. Этот процесс продолжается до тех пор, пока карликовая береза на бугре не попадет в неблагоприятные условия снегзаносимости. В результате увеличения высоты бугра количество снега на нем из года в год уменьшается, так как он все больше сдувается ветрами. Из-за неблагоприятного снегового режима сначала отмирает карликовая береза, потом мхи и кустарнички, торфяная подушка пересыхает и начинает разрушаться под

действием ветра, воды, лишайников. Постепенно на месте бугра образуется пятно оголенной минеральной почвы, которое вновь заселяется растительностью, и начинается новый цикл бугрообразования.

Такова в общих чертах теория эволюции бугристого микро-рельефа, разработанная Ивановой и Полинцевой. Эту же теорию бугрообразования поддерживали Ю. А. Ливеровский (1939), И. А. Тютюнов (1953). Д. Г. Панов (1933) изложил общую схему эволюции бугристой тундры, согласно которой она также неизбежно сменяется пятнистой. Однако развитие тундрового микро-рельефа рассмотрено им без учета динамики растительного покрова. Иванова и Полинцева (1952) отмечают также, что наиболее резко выраженное образование бугров наблюдается на участках, где скапливается много снега.

Важнейшим недостатком отмеченной теории является то, что она не подкреплена достаточно доказательным фактическим материалом. Особенно это относится к выявлению роли динамики растительности в процессах промерзания и протаивания почв при развитии бугристого тундрового микро-рельефа. В отмеченных работах материалы о промерзании и протаивании грунтов отсутствуют.

Роль динамики растительного покрова в эволюции бугристого микро-рельефа выявляется, в частности, при исследовании развития этого микро-рельефа и растительности после выгорания растительного покрова бугристой тундры.

На междуречье Ярудея и Надыма, на плоских слабо дренированных участках бугристые тундры (рис. 34) занимают большие площади. На ненарушенных пожаром и пастбой участках эти тундровые территории характеризуются наличием невысоких (20—50 см), плоских, пологих бугров, округлых, эллиптических или неправильно округло-лопастных в плане. Переход от бугров к понижениям очень пологий. Бугры занимают около 30—40% поверхности. На буграх обычно доминирует багульник (*Ledum palustre*, 20—30%), обильны карликовая береза (*Betula nana*), морошка (*Rubus chamaemorus*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), брусника (*V. vitis idaea*), водяника (*Empetrum nigrum*), осока (*Carex globularis*).

Общее покрытие яруса 30—60%.

В сплошном напочвенном покрове господствуют лишайники: *Cladonia alpestris* (70%), *Cl. rangiferina* (10—20%), встречаются *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum strictum*, *Cetraria islandica*, *C. cuculata*. На некоторых буграх в напочвенном покрове встречаются *Sphagnum fuscum* (70—80%), а по краям бугров — *Sph. acutifolium*.

Кустарнички на таких буграх более редкие, чем на буграх, покрытых лишайниками, и угнетены (высота редко более 15 см), однако на них обильны морошки (до 50%) и клюквы (*Oxycoccus*

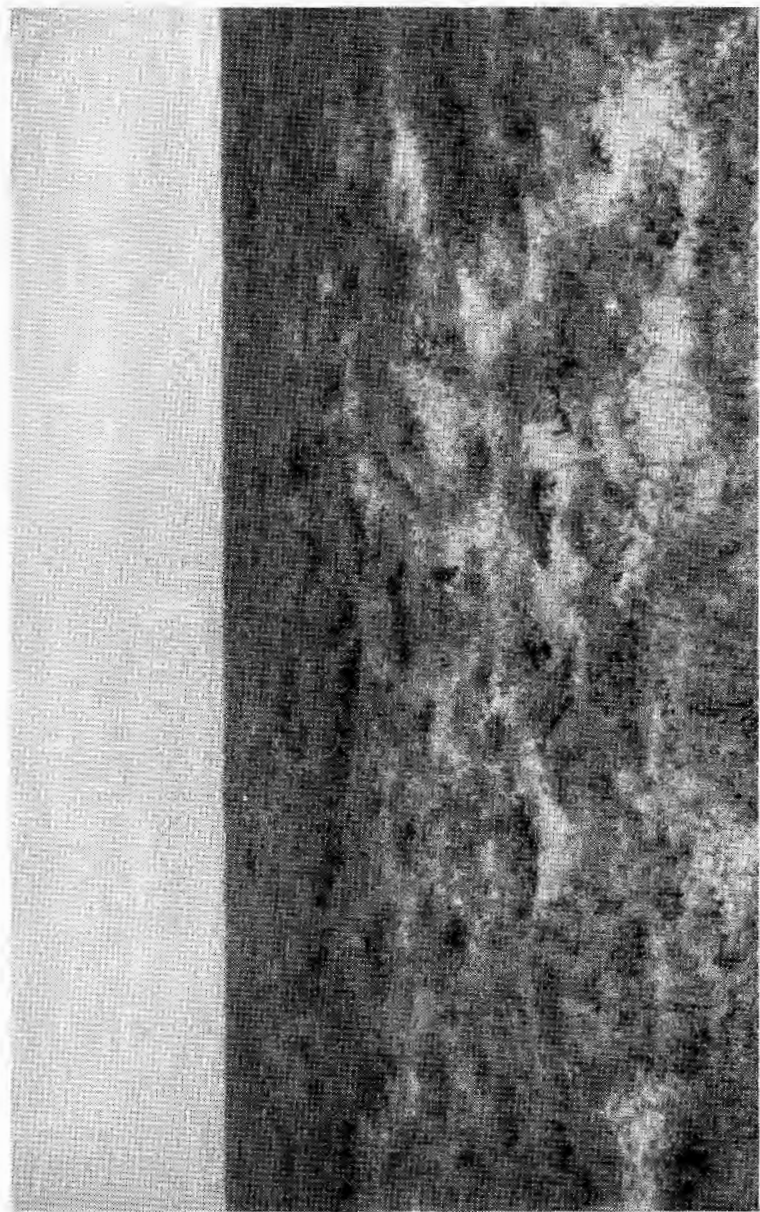


Рис. 34. Бугристая багульниково-лишайниковая тундра на междуречье Ярулси — Надым

microcarpus), встречаются также андромеда (*Andromeda polifolia*), болотный мирт (*Chamaedaphne calyculata*).

Сфагновые бугры обычно несколько ниже бугров, покрытых лишайниками, и нередко расположены между ними.

Встречаются и такие бугры, растительный покров которых является переходным между двумя отмеченными типами бугров, в напочвенном покрове обилие лишайников и *Sphagnum fuscum*, а в травяно-кустарничковом ярусе встречаются все виды трав и кустарничков, характерные для двух первых типов бугров. Понижения между буграми также характеризуются неоднородной растительностью. На более пониженных участках обилие пушицы (*Eriophorum vaginatum*) на сплошном ковре *Sphagnum squarrosum*, в менее глубоких понижениях доминирует осока (*Carex globularis*), на ковре *Sphagnum fuscum*, всюду обилие морошки и клюквы, встречаются также мхи (*Polytrichum strictum*, *P. commune*), кустарнички: багульник, голубика, болотный мирт, андромеда, брусника, карликовая береза, обычно угнетенные, редко ивы (*Salix glauca*, *S. phylicifolia*).

Бугры и понижения сложены сверху торфом мощностью 20—60 см, под которым залегают суглинки, супеси обычно голубоватых оттенков (оглеенные). Для минеральных горизонтов под буграми характерно обилие ледяных прослоек, толщиной обычно не более 0,5 см, расположенных в целом горизонтально (рис. 35). Существенных смятий или перемещений минеральных слоев не наблюдается. Глубина протаивания почвы колеблется от 30 до 70 см. При этом на буграх почва протаивает глубже, чем в понижениях.

На поверхности багульниково-мохово-лишайниковой бугристой тундры не заметно проявления мерзлотных процессов — отсутствие пятен-медальонов, трещин, разрывов торфяно-моховой дернины, отмирания растительности на буграх и т. п.

Пожар на таких участках тундры приводит к существенному изменению поверхностного покрова и условий промерзания и протаивания почво-грунтов. На сухих участках, покрытых лишайниками, нередко нацело выгорает торф и обнажаются минеральные горизонты, в то время как на буграх и в понижениях, занятых сфагновыми мхами, повреждаются лишь надземные части трав и кустарничков, а слои торфа сохраняются.

Неравномерное выгорание торфа создает условия неодинакового промерзания и протаивания грунтов. Обнаженные льдистые минеральные горизонты в первый же летний сезон после пожара глубоко (до 100—130 см) протаивают, при этом происходит просадка грунта, а на более широких участках образуются небольшие водоемчики, диаметром 4—6 м. Под участками, где торф не выгорел или выгорел слабо, глубина протаивания не увеличивается существенно, просадка грунтов не наблюдается. Так, бывшие понижения после пожара становятся повышениями.

Промерзание почвы также происходит неравномерно. В понижениях накапливается больше снега, и грунт промерзает медлен-



Рис. 35. Прослойки льда в грунте бугра

нее и на меньшую глубину, чем на повышениях, с которых снег сносится. На повышениях сезоннопротаивающий слой промерзает полностью вплоть до верхней поверхности вечной мерзлоты. В понижениях этот слой не промерзает весь уже в первые годы после пожара, а сезоннопромерзающий слой протаивает полностью в течение некоторой части лета, в то время как в остальную часть его протаивает вечная мерзлота. Так в понижениях формируются талики. Почва под повышениями протаивает всего на 40—70 см, а ниже залегает вечная мерзлота. Таким образом создаются условия, при которых температура грунтов повышений ниже, чем понижений с таликами. При этих условиях влага из талых грунтов понижений мигрирует к промерзающим слоям грунта повышений и, замерзая здесь, образует прослойки льда.

Восстановление растительного покрова после пожара вначале не изменяет существенно условий миграции влаги из таликов к начальным повышениям и включает четыре стадии.

1. Ерники с травяным покровом — на формирующихся буграх, пушицевые болота — в понижениях. Растительность багульниково-мохово-лишайниковой тундры после пожара сильно изменяется. Лишайники целиком выгорают, сфагновые мхи гибнут. После пожара на повышениях (формирующихся буграх) разрастаются кустарнички, особенно карликовая береза, увеличивается количество ив. В травяно-кустарничковом ярусе обильны голубика, осока (*Carex globularis*), вейник (*Calamagrostis lapponica*), морозника, княженика (*Rubus arcticus*), брусника, болотный мирт, встречаются багульник, водяника. В понижениях с водой преобладают пушицы (*Eriophorum angustifolium*, *E. scheuchzeri*), встречаются мхи рода *Drepanocladus*.

Кустарнички задерживают снег, количество которого в понижениях больше, чем на повышениях, поэтому грунты в понижениях промерзают неглубоко и промерзший слой полностью протаивает в течение части лета, образовавшиеся после пожара талики не промерзают. На буграх, возвышающихся по мере образования прослоек льда, глубина протаивания почвы не увеличивается. Таким образом, в течение этой стадии сохраняются необходимые условия для постоянной миграции влаги из таликов к увеличивающимся буграм. Эта стадия характеризуется наиболее интенсивной миграцией влаги и наибольшим пучением. Так, в результате пучения при замерзании влаги, мигрирующей из таликов к повышениям, постепенно формируются бугры.

Очевидно, что форма бугров будет зависеть в первую очередь от формы первоначальных повышений, а последняя может быть самой различной.

2. Моховые ерники — на буграх, пушицево-сфагновые болота — в понижениях. На возвышающихся буграх постепенно разрастаются мхи, образующие сплошной покров, в котором доминируют *Polytrichum commune*, *P. strictum*, видовой состав кус-

тарников, кустарничков и трав не изменяется существенно по сравнению с первой стадией.

В понижениях развивается сплошной покров из сфагнумов (*Sphagnum squarrosum*, *Sph. lindbergii*), на котором преобладают те же пушицы, а также *Eriophorum russeolum*.

Эта стадия также характеризуется интенсивной миграцией влаги к буграм и образованием прослоек льда (табл. 79).

3. Лишайниковые ерники — на буграх, кустарничково-сфагновые болота — в понижениях.

В процессе дальнейшего накопления торфа в понижениях создаются условия для развития кустарничков и пушицево-сфагновое болото сменяется кустарничково-сфагновым.

В сплошном моховом покрове на данной стадии преобладают *Sphagnum balticum*, *S. angustifolium*, в травяно-кустарничковом ярусе обильны пушица, андромеда, клюква, морощка, болотный мирт, осока (*Carex globularis*).

Поверхность таких болот не покрывается водой, поэтому протаивание почвы замедляется по сравнению с обводненными болотами первых стадий. В результате этого промерзший грунт не протаивает полностью летом, образуются перелетки, в последующие годы талики в понижениях промерзают.

Еще в процессе смены пушицевых болот кустарничковыми накопление торфа происходит быстрее, чем повышение бугров за счет пучения, поэтому относительная высота их не увеличивается, а уменьшается. В тот период, когда бугры достигнут значительной высоты, поверхность их сильно пересыхает, мхи в этих условиях вытесняются лишайниками (*Cladonia alpestris*, *Cl. rangiferina*). По мере возвышения бугров на вершинах увеличивается количество багульника, брусники, водяники, обилие карликовой березы уменьшается. Береза лучше развивается на склонах бугров.

После промерзания таликов пучение бугров прекращается, и они постепенно погребаются торфом и мхами, наступающими на их склоны.

4. Багульниково-лишайниковая тундра — на буграх, олиготрофные сфагновые болота — в понижениях.

Сфагновый торф и мхи заполняют понижения и бугристость постепенно сглаживается. Карликовая береза по мере заполнения торфом понижений и погребения бугров угнетается и изреживается. На лишайниковом ковре вершин бугров, едва возвышающихся над понижениями, преобладает багульник.

В понижениях по мере дальнейшего накопления торфа кустарнички угнетаются и кустарничково-сфагновое болото сменяется олиготрофным сфагновым. В плотном, сплошном моховом покрове господствует *Sphagnum fuscum*, часто встречаются *Sph. angustifolium*, *Sph. acutifolium*. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают морощка и клюква и встречаются в сильно угнетенном состоянии другие травы и кустарнички, отмеченные для кустарничково-сфагнового болота.

Таблица 79

Изменение протаивания грунтов в процессе восстановления растительности после пожара в понижениях между буграми и развитие бугров

Стадии зарастания		Толщина, см		Глубина про-таивания, см	Развитие бугров
понижений с водой	бугров	торфа	мохового покрова		
Пушицевые болота	травяные ерники	нет	5—10	промерзший слой протает весь	интенсивное пучение
Пушицево-сфагновые болота	моховые ерники	5—20	10—15	то же	то же
Кустарничково-сфагновые болота	лишайниковые ерники	20—40	5—10	50—60	прекращение пучения, погребение торфом и мхами
Олиготрофные болота	кустарничково-лишайниковые тундры	40—60	5—10	30—50	погребение торфом и мхами

Одновременно с развитием бугров протекает и эволюция пятен-медальонов.

На небольших, окруженных со всех сторон слабонарушенным торфяно-моховым слоем участках шириной 0,5—1,5 м выгорел торф, создаются благоприятные условия для формирования пятен-медальонов. Обнаженные участки протаивают уже в первый год после пожара на 100—130 см, при этом наблюдается просадка поверхности и образование полужидкого грунта-пльвуна. В осенне-зимний период в понижениях накапливается больше снега, и почва промерзает медленнее, чем на окружающих заторфованных повышениях. В процессе промерзания увеличивающаяся мерзлая корка сверху давит на слой пльвуна, расширяющийся также при охлаждении и промерзании. Под воздействием развивающегося в слое пльвуна давления мерзлая корка разрывается в наиболее слабом месте, и через разрыв пльвун изливается на поверхность. Наиболее слабым участком, очевидно, будет корка под более толстым слоем снега на участке, где выгорел торф. Повторяющиеся в течение многих лет излияния грунта в одних и тех же местах и формируют пятна обнаженного грунта. Характерной особенностью пятен-медальонов подобного типа является их расположение в понижениях.

Пятна-медальоны в понижениях зарастают. По краям их поселяется пушица (*Eriophorum vaginatum*), формирующая кочки. В центральных частях развивается *Eriophorum scheuchzeri*, а из мхов — виды рода *Drepanocladus*. Кочки пушицы постепенно продвигаются к центрам пятен, и по мере накопления торфа на пятнах поселяются *Sphagnum squarrosum*, *Sph. lindbergii*, а также *Politrichum strictum*, *P. commune*. В травяно-кустарничковом ярусе разрастаются морошка, осока (*Carex globularis*), болотный мирт, багульник, голубика, карликовая береза и ивы. Дальнейшее накопление торфа настолько ухудшает питательные качества почвы, что кустарнички угнетаются, и на месте пятна образуется олиготрофное сфагновое болото. По мере зарастания пятен уменьшается глубина протаивания почвы и сглаживаются различия в промерзании и протаивании пятен и окружающих повышений, в связи с чем процесс пятнообразования постепенно затухает. Так восстанавливается растительность багульниково-мохово-лишайниковой тундры после пожара.

Таким образом, по мере развития растительности процессы пучения (бугрообразования) и пятнообразования ослабевают, а затем прекращаются, пятна зарастают, а бугры погребаются мхом и торфом.

На севере Западной Сибири не наблюдается в процессе естественного развития растительности смена бугристых тундр пятнистыми. В природных условиях динамика растительности имеет следствием прогрессирующее заторфовывание почвы, этот процесс прекращает бугрообразование и пятнообразование, выравнивает бугристую поверхность тундры. Пятнообразование и бугрообразо-

вание возобновляются лишь после неравномерного нарушения растительного покрова, при котором создаются благоприятные условия для пучения и излияния пльвуна при промерзании почво-грунтов.

Неравномерные условия промерзания и протаивания и усиление процессов бугрообразования и пятнообразования создаются также при интенсивном выпасе тундры, когда олени разрушают торфяной покров (Андреев, 1931).

Данные материалы не соответствуют схеме развития бугорково-нанорельефа, разработанной Польшинцевой и Ивановой (1936, 1952, 1962), считающих ее универсальной для всех тундр. Они считают, что наиболее интенсивно процессы пучения и бугрообразования протекают при развитии наиболее пышной растительности и максимального торфонакопления. Изложенные материалы свидетельствуют о том, что накопление торфа и развитие растительности способствует уменьшению глубины протаивания и замедлению промерзания грунтов и уменьшает пучение и образование пятен. Кроме того, при гидродинамическом напоре, который, по мнению Польшинцевой и Ивановой, является главной причиной образования бугров, невозможно медленное пучение без нарушения растительного покрова, а наблюдается обычно разрыв торфяно-мохового слоя, корней и излияние пльвуна (пятнообразование).

В резко континентальных тундрах и лесотундре Восточной Сибири и Якутии (низовья рек Яны, Индигирки) подобные бугристые образования не встречаются, хотя состав почво-грунтов и растительный покров в общем сходны с западно-сибирской лесотундрой и тундрой. После уничтожения растительности и торфяного покрова в тундрах Восточной Сибири не формируются талики, чередующиеся с вечномерзлыми грунтами начальных повышений. Почвы быстро промерзают в осенне-зимний период, поэтому исключается возможность длительной и значительной миграции влаги из понижений к повышениям.

ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА

Эти формы рельефа образуются в результате локального вытаявания льда рыхлых отложений, дающих осадку.

Развитие растительности, как правило, способствуя уменьшению глубины протаивания грунтов, прекращает термокарст.

Уничтожение или нарушение растительного покрова на участках, сложенных льдистыми грунтами, часто влечет образование термокарстовых форм рельефа.

Обычно термокарст протекает таким образом. После уничтожения растительного покрова глубина протаивания увеличивается так значительно, что протаивает часть верхнего слоя вечной мерзлоты. Грунт, занимающий после протаивания место льда, уплотняется, дает осадку. На поверхности почвы образуется понижение. В последующие годы протаивание вечной мерзлоты и осадка усили-

ваются, так как в понижении накапливается вода и снег, способствующие прогреванию почвы. По мере увеличения глубины водоема ускоряется протаивание мерзлых грунтов по берегам его, водоем расширяется. Так на месте суши образуются озера или болота.

Уничтожение растительного покрова даже на небольшом участке влечет образование водоема.

В 1952 г. в тундре в низовье р. Индигирки на плоской горизонтальной поверхности террасы, сложенной пылевато-суглинистыми грунтами, включающими полигонально-жильные льды, был удален растительный покров на площадке 50×50 кв. м.

В травяно-кустарничковом ярусе на площадке и около нее преобладали пушица (*Eriophorum vaginatum*), образующая кочки высотой до 20 см, диаметром до 20 см, карликовая береза (*Betula exilis*), багульник (*Ledum decumbens*), ивы (*Salix pulchra*, *S. glauca*), часто встречались голубика, брусника, валериана (*Valeriana capitata*), осока (*Carex hyperborea*), грушанка (*Pirola incarnata*), изредка вейник (*Calamagrostis lapponica*), ожика (*Luzula multiflora*), камнеломки (*Saxifraga hirculus*, *S. stellaris*).

В напочвенном покрове, почти сплошном (разрежен под густыми зарослями кустарничков), преобладали *Ptilidium ciliare*, *Camptothecium trichoides*, часто встречались *Aulacomnium palustre*, *A. turgidum*, редко виды рода *Dicranum*, *Sphagnum compactum*, *Cetraria islandica*, *C. cucullata*, *Peltigera aphthosa*.

Высота напочвенного покрова 4—6 см, высота травяно-кустарничкового яруса 10—40 см, общее покрытие 30—80%. Под напочвенным покровом залегал торфянистый горизонт мощностью 5—20 см, ниже которого суглинки. Глубина протаивания почвы 25—40 см. После удаления торфяно-мохового слоя глубина протаивания почвы увеличилась до 70—80 см, протаявший грунт дал осадку, которая в 1954 г. в среднем была равна 17 см, а наибольшая достигла 30 см. На площадке образовался мелкий водоем и канавообразные понижения шириной от 0,45 до 2,80 м, глубина их от 0,1 до 0,5 м. При этом наибольшая глубина и ширина понижений была зафиксирована на стыке трещин четырех полигонов. К августу 1963 г. глубина этого понижения достигла 1,5—1,6 м, а ширина до 5 м, возникли также новые понижения. Почва на берегах понижений сползает в них, образуя продольные трещины. Максимальная осадка грунта достигла к 1962 г. 210 см (Толстов, 1963).

Таким образом, даже в чрезвычайно суровых условиях тундры северо-востока Якутии на участках, где температура мерзлых грунтов —10°, —11°, удаление растительного покрова приводит к прогрессирующему развитию термокарста, формированию понижений, заполненных водой.

Уничтожение растительного покрова на склонах (даже пологих) вызывает более интенсивный термокарст, чем на горизонтальных поверхностях, ибо здесь термокарст сопровождается эрозией.

Эрозия в районах распространения льдистых рыхлых грунтов более интенсивна, чем вне области вечной мерзлоты по следующим причинам.

1. Мерзлый грунт после оттаивания становится неустойчивым, часто текучим,двигающимся даже по небольшому уклону. Он легко размывается.

2. Над влагонепроницаемым мерзлым грунтом накапливается вода, стекающая по уклону мерзлой поверхности. Эта вода создает благоприятные условия для сползания почвы (оползней, оплывин, солифлюкции) и, выходя на поверхность склонов, размывает их.

3. Эрозия всегда сопровождается термокарстом, поставляющим воду для эрозии.

4. Эрозия вследствие отмеченных причин протекает непрерывно в течение теплого времени года, хотя бы в этот период не было дождей.

Эрозионно-термокарстовый процесс начинается нередко после небольших повреждений растительного покрова.

В тундровых районах после проезда транспорта, нарушающего торфяно-моховой покров, в короткий срок образуются овраги. В Анадырском крае овраги и провальные озера образовались в течение 8 лет, после проезда транспорта (Граве, Некрасов, 1961).

Пожары, уничтожающие растительный покров на огромных пространствах тундры и тайги, вызывают изменение всего облика местности.

В северной тайге Западной Сибири, в низовье Надыма, через 10—15 лет после лесных пожаров образовались обширные термокарстовые озера (рис. 36).

В лесотундровых и тундровых районах Приморской низменности после уничтожения растительности на террасах, заключающих полигонально-жильные льды, клинья которых достигают 30 м и более в высоту (рис. 37), льды вытаивают и образуются озерно-болотные ложбины (аласы), глубиной 20—30 м.

Образование обширных термокарстовых озер после лесного пожара наблюдал на северо-востоке Якутии А. Л. Биркенгоф (1934), в Тункинской котловине — Г. Ф. Писарев (1935). Формирование озер, превращающихся в аласы, после пожаров, вырубки в различных районах Якутии отмечали многие исследователи (Ефимов, 1950; Цыпленкин, 1944, и др.).

Речные террасы, включающие полигонально-жильные льды, нередко распахивали. После распашки льды начинали вытаивать, формировались вначале канавы, затем овраги и озера. В Якутии поля на таких террасах приходится забрасывать через 3—5 лет после расчистки леса и распашки (Цыпленкин, 1944).

В ходе эрозионно-термокарстовых процессов, после уничтожения растительности на участках, где распространены жильно-полигональные льды, залегающие в виде решетки в трещинах между полигонами, лед в трещинах вытаивает быстрее, чем в грунте центральных частей полигонов. Унос материала после вытаивания



Рис. 36. Термокарстовое озеро, образовавшееся на месте сгоревшего леса в долине р. Надыма

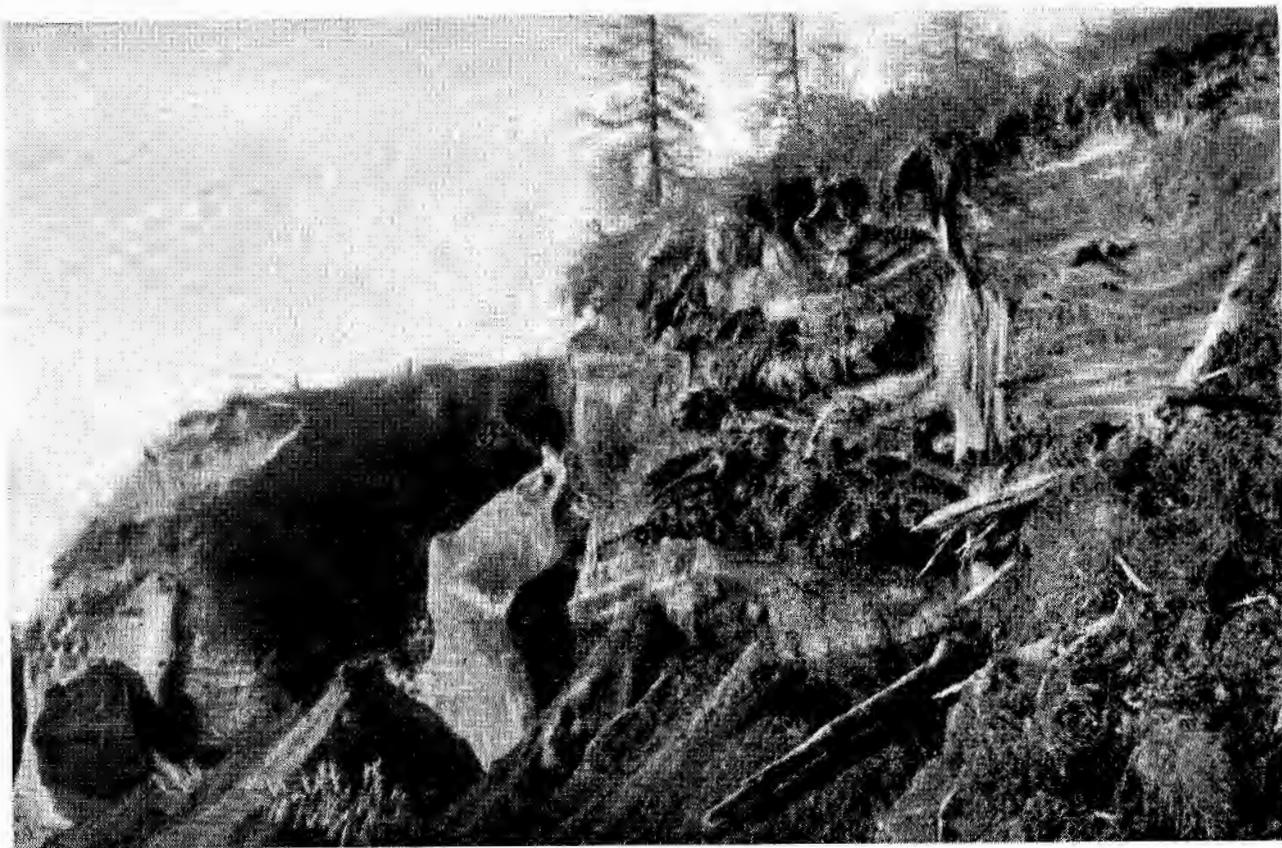


Рис. 37. Полигонально-жильные льды в отложениях второй надпойменной террасы р. Яны

льда происходит также неравномерно, на участках, прилегающих к жилам льда, талый минеральный грунт уносится быстрее, чем в центрах полигонов. После прекращения вытаивания льда на склонах оврагов, берегах озер и т. п. остаются бугры-байджерахи. Склоны их зарастают и таким образом предохраняются от разрушения эрозией и термокарстом (стадии зарастания их охарактеризованы в главе III). Растительный покров является в данном случае консерватором специфических форм эрозионно-термокарстового рельефа, свойственных районам, где распространены жильно-полигональные льды (рис. 38).

Генетически сходный с байджерахами западинно-бугристый рельеф также образовался после вытаивания полигонально-жильного льда. Образование западинно-бугристого рельефа наблюдается в настоящее время в области распространения полигонально-жильных льдов. Нарушение растительного покрова приводит к усилению прогревания, протаивания и просадки почвы. При этом наибольшая просадка ее происходит на стыках ледяных жил полигонов, подобно тому, как это наблюдалось после искусственного удаления торфяно-мохового слоя в тундре в низовьях Индигирки. Просадка в центральных частях полигонов наименьшая. В результате продолжающейся многие годы просадки формируется типичный западинно-бугристый рельеф, характеризующийся правильным (шахматным) распределением бугров (рис. 39).

В Якутии на аллювиальных террасах после их распашки формируется западинно-бугристый рельеф. На Аляске в районе Файр-банка подобный рельеф начинает образовываться на полях через 2—3 года после расчистки (Pewe, 1957).

Растительный покров, развивающийся на западинно-бугристом рельефе, предохраняет его от эрозии и нивелировки.

Растительный покров предохраняет разрушение положительных форм рельефа эрозионно-термокарстовыми процессами. Можно без преувеличения заявить, что при отсутствии растительного покрова многие положительные формы рельефа, сложенные рыхлыми льдистыми грунтами, были бы сnivelированы эрозионно-термокарстовыми процессами.

Лишь в некоторых условиях развитие растительности способствует усилению термокарстового процесса. Так, например, поселение деревьев и кустарников на вершинах торфяных бугров в северной тайге Западной Сибири способствует накоплению снега под ними на северных и западных опушках. На этих участках промерзание почвы замедляется, а летом сезонномерзлый слой протаивает полностью и начинается протаивание вечной мерзлоты. При протаивании сильно льдистых грунтов торфяных бугров происходит значительная осадка почвы, образуются западины, где накапливается еще больше снега. Глубина промерзания снова уменьшается, летом в этих западинах скапливается вода, способствующая более интенсивному протаиванию вечной мерзлоты.

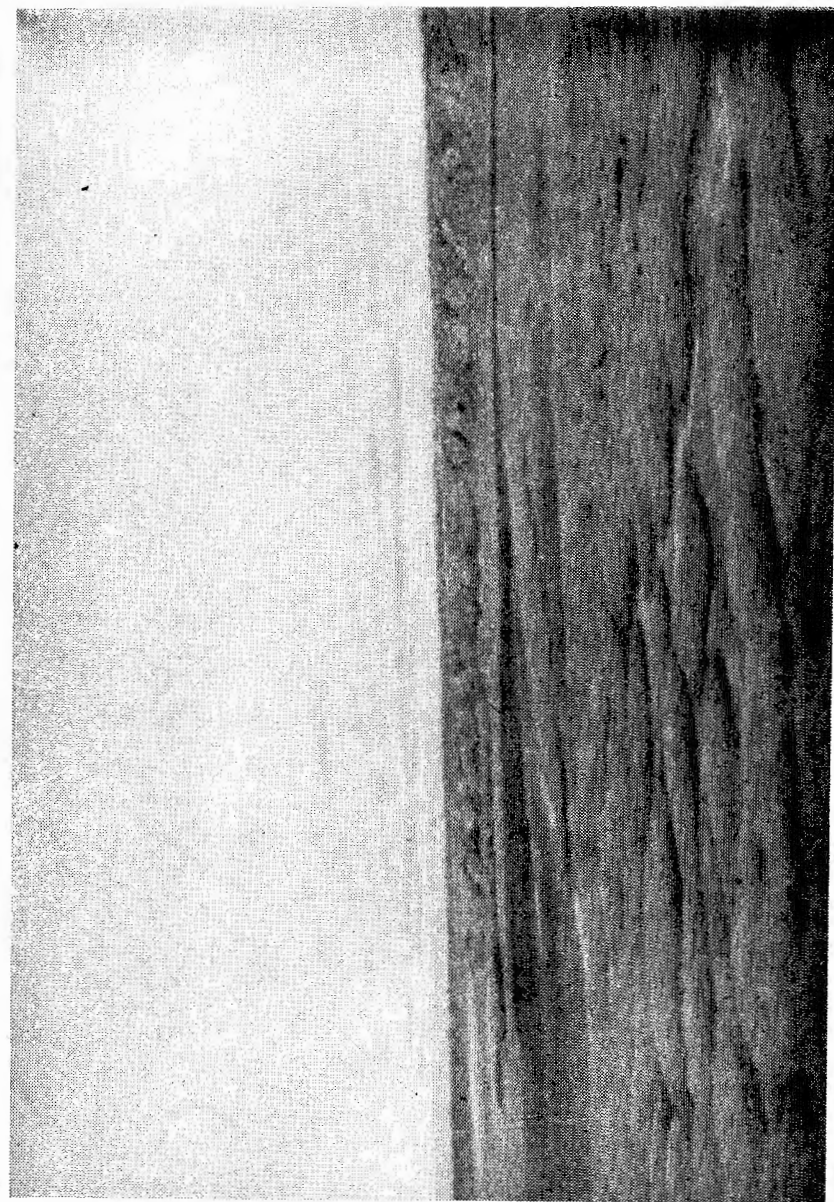


Рис. 38. Западно-бугристый рельеф в аласном понижении в низовье р. Яны

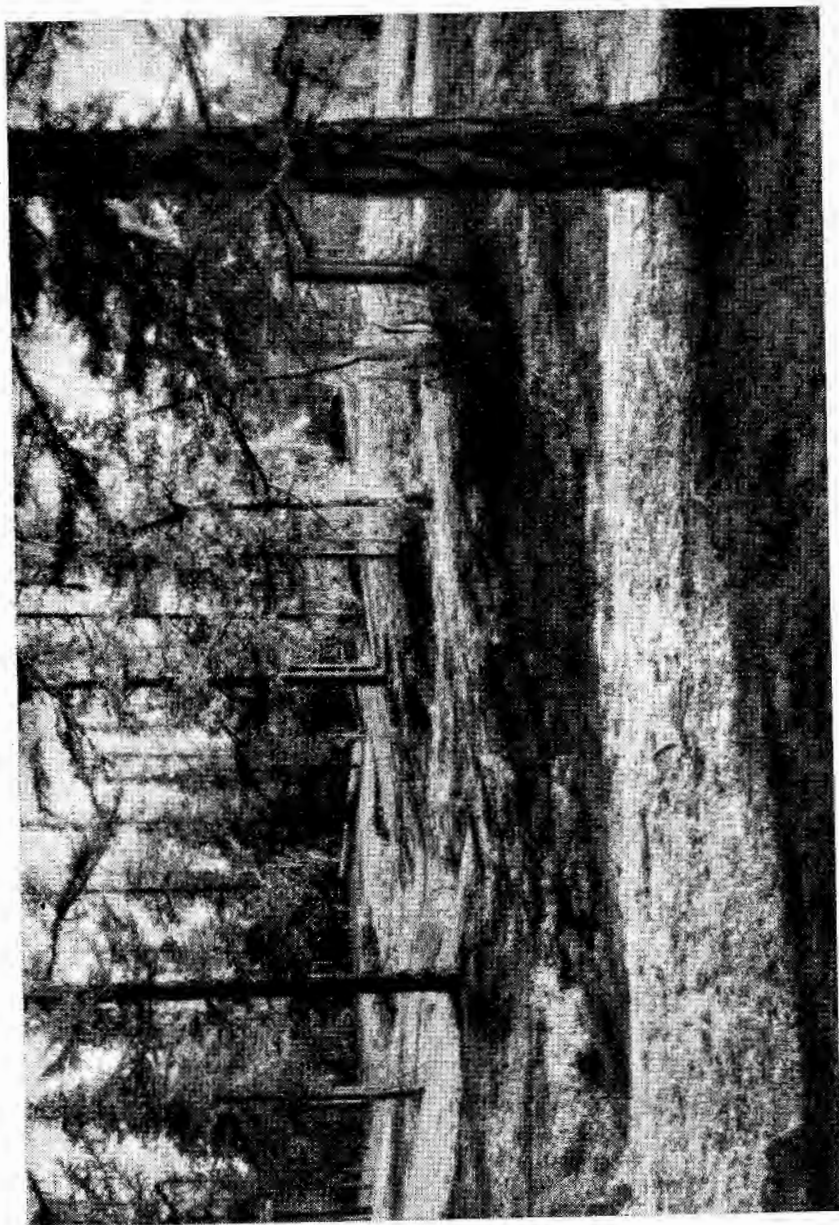


Рис. 39. Древний западинно-бугристый рельеф в долине р. Ярудея

В результате процесс термокарста на буграх усиливается и может привести в конечном итоге к полному протаиванию мерзлого торфяного бугра (массива). Интенсивное развитие термокарстового процесса на северных и западных склонах бугров, покрытых древесной и кустарниковой растительностью, довольно часто наблюдается в северной тайге Западной Сибири.

Поселение древесной растительности на буграх пучения, расположенных среди безлесных болот, приводит к термокарсту и полной их деградации.

По-видимому, в тундре и лесотундре развитие курстарников и лесов также может создать условия для термокарста, особенно там, где температура грунтов высока.

* * *

Эрозивно-термокарстовые процессы, развивающиеся после уничтожения растительного покрова, создают очень большие трудности при освоении области вечной мерзлоты.

Разработка мероприятий, предотвращающих эти процессы, — актуальная проблема в связи с интенсификацией освоения этой области.

В процессе разработки этих мероприятий необходимо предусмотреть в первую очередь следующее.

1. Строительство различных сооружений и сельскохозяйственное производство располагать на участках, где грунты не дают осадки после оттаивания.

2. При сооружении объектов на грунтах, дающих осадку, провести мероприятия по сохранению вечной мерзлоты в неизменном состоянии в зоне объектов, где уничтожен растительный покров (методы разрабатываются инженерным мерзлотоведением), вне этой зоны:

а) сохранять растительный покров, особенно оберегая его на склонах;

б) запретить проезд транспорта вне специальных дорог, вырубку и вывозку леса летом;

в) сжигать порубочные остатки зимой на участках, где термокарст не развивается.

3. Обеспечить надежную охрану лесов и других типов растительного покрова от пожара.

ВЫВОДЫ

Динамика многих мерзлотных форм рельефа не изучена в связи с изменениями растительного покрова.

Развитие широко распространенных форм рельефа: крупнобугристых торфяников, околоствольных взбугрений, бугристых тундр, бугров-могильников (Тыртиков, 1967), термокарстовых форм —

обусловлено в значительной степени динамикой растительного покрова.

Крупнобугристые торфяники, окоlostвольные взбугрения и тундровые бугры имеют одинаковый генезис. Различная высота их определяется разным временем формирования: тундровые бугры формируются в течение нескольких десятков или около сотни лет, взбугрения — 100—150 лет, бугристые торфяники — многих сотен лет.

Мерзлотные формы рельефа — показатели состава грунтов: крупнобугристые торфяники, окоlostвольные взбугрения, бугристые тундры, бугры-могильники формируются на участках, сложенных преимущественно пылеватými суглинками.

Глава V

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ПРОМЕРЗАНИЯ, ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ И ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ С ПОМОЩЬЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Изменяя растительный покров, можно целенаправленно воздействовать на теплообмен между почвой и атмосферой, а следовательно, на температуру, протаивание, промерзание грунтов и на развитие вечной мерзлоты. На необходимость управления промерзанием и протаиванием почв с помощью агротехнических мероприятий указывал еще М. И. Сумгин (1940). Изучение особенностей сезонной мерзлоты в зависимости от характера искусственных воздействий на растительный, почвенный и снеговой покровы П. И. Колосков (1946) рассматривал в качестве одной из задач специального изучения сезонной мерзлоты.

Им же разработаны основные принципы управления теплообменом между почвой и атмосферой (Колосков 1925, 1930, 1950). Колосков исходит из того положения, что «решающее значение для теплового баланса и теплового оборота в почве имеет самый верхний горизонт ее — почвенный или почвенно-ботанический покров и в естественных условиях годовой приход и расход тепла ... дают обычно устойчивый баланс почвенного тепла, соответствующий данным почвенно-ботаническим и климатическим (вообще геолого-географическим) условиям» (Колосков, 1950, стр. 33). Этот устойчивый баланс нарушается при изменении почвенно-растительного покрова. Если этот покров изменить так, чтобы он в период поступления тепла был более теплопроводным, а в период потери тепла — менее теплопроводным, то баланс изменится в положительную сторону, почва станет более теплой при противоположных изменениях, т. е. при уменьшении теплопроводности покрова летом и при увеличении ее зимой баланс изменится в отрицательную сторону — почва начнет терять тепло, станет холоднее.

Все мероприятия, направленные на уничтожение, ослабление или минерализацию органического покрова (как живого, так и мертвого) почвы, вызывают для вегетационного периода повышение температуры почвы, для зимнего времени — понижение. Эти же мероприятия увеличивают среднегодовую амплитуду температуры почвы, т. е. увеличивают в ней теплооборот (Колосков, 1932).

Изложенные в данной работе материалы полностью подтверждают отмеченные положения.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ

Растительный покров задерживает поток тепла в почву, поэтому после удаления растительности этот поток значительно возрастает. На Колыме, на участке с естественным растительным покровом, теплоток в почву летом составлял всего 3% от суммарной радиации, а после удаления растительности он увеличился почти в 3 раза (Кошляков, 1953). Уничтожение растительного покрова повсюду приводит к повышению температуры почвы летом.

Повышение температуры почвы в течение вегетации зависит от специфики уничтожаемого покрова, общих климатических условий района и дополнительных мероприятий, способствующих прогреванию почвы.

Для области вечной мерзлоты характерны покров из мхов и лишайников и торфянистый слой, которые препятствуют прогреванию почвы. Поэтому их удаление приводит к значительному повышению температуры почвы летом. В районе Игарки и в долине р. Хантайки после удаления торфянистых горизонтов и напочвенного покрова в редкостойных лесах температура почвы за летний период повысилась на 6,4—7,3° по сравнению с естественными условиями (табл. 80).

Таблица 80

Влияние удаления торфянистого горизонта и напочвенного покрова на температуру почвы

Место наблюдения	Период наблюдения	Мощность, см		Сомкнутость крон	Средняя температура почвы в °С на глубине 20 см
		напочвенного покрова	торфянистого горизонта		
Редкостойный лишайниковый лес на тонкопесчаной почве в районе Игарки	15 июня	удален	7	0,3	3,0
	—15 сентября 1950 г.		—	0,3	10,3
Редкостойный зеленомоховой лиственный лес на суглинистой почве в долине Хантайки	1 июля	удален	12	0,3	3,1
	—13 сентября 1959		—	0,3	9,5

В некоторых районах Амурской области среднемесячная температура почвы после уничтожения растительного покрова повышается почти на 10° (Колосков, 1925).

Тепломелиоративный эффект в результате уничтожения растительности значительно увеличивается путем применения дополнительных мероприятий, способствующих прогреванию почвы, например распахки.

В пределах Амурской области после распахки среднеиюльская температура почвы на глубине 40 см повышается на 14°, если распахивается полуболотная почва, покрытая лесом; на 12° — торфяно-болотная под травянным покровом; на 9° — полуболотная под травяным покровом; на 3° — слабодернистая хрящеватая под травяным покровом (Колосков, 1925).

В Центральной Якутии после распахки почвы из-под леса температура ее на глубине 0—80 см за период с третьей декады июля по третью декаду августа повысилась на 8,3° (Зольников, 1954). Таким образом, можно сделать вывод о том, что путем уничтожения лесной растительности и последующей распахки почвы с минерализацией мертвого органического покрова можно повысить температуру суглинистых почв в таежной полосе области вечной мерзлоты в течение наиболее жаркого месяца на глубине 20—40 см — на 8—15° (в среднем на 10°). Судя по наблюдениям на северной границе тайги (Тыртыков, 1962) и в южной лесотундре (Солдатенкова, 1965), можно считать, что путем проведения подобных же мероприятий в лесотундре можно повысить температуру почвы на глубине 20 см в наиболее теплый месяц на 5—8°. Можно значительно повысить температуру почвы моховых и кустарничковых тундр, однако в нашем распоряжении нет материала, позволяющего дать количественную оценку мероприятиям, способствующим повышению температуры почв в подзонах типичных тундр.

Растительный покров препятствует также и охлаждению почвы, поэтому уничтожение его приводит к понижению зимних температур. После выгорания органического покрова на лесной вырубке на ст. Ушман-Ола (52°04' с. ш., 132°01' в. д.) температура почвы в среднем за 5,5 лет на глубине 40 см в январе понизилась на 2,9° по сравнению с ненарушенным участком (Колосков, 1950).

Понижение температуры почвы зимой после уничтожения органического покрова будет еще более значительным в том случае, если почва распахивается. После распахки торфяно-суглинистой почвы, в результате которой торфяной слой был минерализован, на ст. Бомнак с декабря по март температура почвы на целине стала выше, чем на распаханном участке: на глубине 20 см на 8,7°, на глубине 40 см — на 7,3° (табл. 81).

В некоторых случаях в Амурской области среднемесячные температуры в наиболее холодные месяцы на глубине 20—40 см понижаются на 17° по сравнению с ненарушенными участками. Однако такое значительное понижение температуры почвы наблюдается в

Таблица 81

Температура торфяно-суглинистой почвы на целине и распаханном участке, где торф минерализован, на ст. Бомнак в 1910—1911 гг. (по Колоскову, 1950)

Глубина, см	Декабрь		Январь		Февраль	
	целина	пашня	целина	пашня	целина	пашня
20	—8,8	—20,0	—13,5	—23,0	—11,7	—17,0
40	—5,2	—14,8	—10,3	—17,6	—9,2	—14,0

районах, где снеговой покров небольшой (не более 20 см). В районах, где мощность снега больше 40 см, понижение температуры бывает менее значительным или вообще не наблюдается (Колосков, 1925, 1930).

Уничтожение древесных, кустарниковых и травяно-кустарниковых ярусов также приводит обычно к повышению температуры почвы летом и к понижению зимой. Однако в случае, если вырубаются хвойные породы с непадающей хвоей, то температура почвы зимой после вырубки повышается по сравнению с невырубленными участками, так как увеличивается количество снега, не задерживаемого больше на кронах.

Уничтожение (минерализация) мертвого и живого растительного покрова воздействует на температурный режим почв в противоположных направлениях в зимний и летний сезоны. Общий суммарный эффект уничтожения растительного покрова зависит от того, какой покров минерализуется, от общеклиматических условий района, и в первую очередь от количества снега. В условиях Амурской области при малом (до 10—20 см) снеговом покрове уничтожение (минерализация) растительного покрова приводит к понижению среднегодовой температуры почвы, при большом (больше 20 см) — к повышению. В зависимости от мероприятий среднегодовая температура почвы понижается на 0,6—1,6° или повышается на 0,5—3,9° (табл. 82).

В различных районах уничтожение (минерализация) растительного покрова в разной степени влияет на среднегодовую температуру почв и грунтов. Вследствие отсутствия материала региональные особенности этого влияния не могут быть освещены.

Одной из важнейших проблем, возникающих при освоении области вечной мерзлоты, является тепловая мелиорация почв, ибо температура почвы в течение вегетации на большей части этой территории ниже оптимальной.

Основные принципы тепловой мелиорации почв разработал П. И. Колосков (1925, 1932, 1950) преимущественно для сельского хозяйства.

Повышение температуры почв — важнейшее условие повышения производительности лесов и лугов в области вечной мерзлоты, так как оно влечет улучшение всего комплекса почвенных условий.

Таблица 82

Повышение или понижение температуры почвы (по месяцам) в зависимости от различных мероприятий в Амурской области (по Колоскову, 1925)

Мероприятия	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Сводка леса изменяет температуру почвы на глубине 20 см при снеговом покрове > 20 см	— 3,5	— 4,1	— 0,6	0,4	1,5	4,3	5,0	3,5	1,1	0,5	0,1	— 0,5	0,5
То же < 10 см	— 7,8	— 8,0	— 5,5	— 3,0	0,5	4,3	5,0	3,5	1,1	— 0,1	— 2,6	— 6,0	— 1,6
То же на глубине 40 см при снеговом покрове > 20 см	— 2,5	— 1,8	0,0	0,0	0,2	1,0	4,8	3,9	2,0	1,0	— 0,5	— 1,5	0,6
То же при снеговом покрове < 10 см	— 3,7	— 4,5	— 3,5	— 2,0	— 1,0	1,0	4,8	3,9	2,0	— 0,1	— 1,0	— 3,1	— 0,6
Сводка леса и выжигание органического покрова изменяют температуру почвы на глубине 40 см при снеговом покрове > 20 см	— 5,4	— 3,9	— 1,7	— 0,2	1,3	6,4	9,7	8,5	5,3	2,3	— 1,2	— 4,3	1,4
Сводка леса и распахка изменяют температуру почвы на глубине 20 см при снеговом покрове > 20 см	— 3,5	— 3,6	— 0,8	— 0,2	5,7	12,0	13,7	12,7	6,5	1,5	0,6	— 3,5	3,3
То же при снеговом покрове < 10 см	— 17,3	— 13,3	— 7,9	— 2,2	3,7	12,0	13,7	12,7	6,5	0,9	— 8,9	— 17,2	— 1,4
То же на глубине 40 см при снеговом покрове > 20 см	— 2,5	— 2,2	— 0,7	— 0,2	4,4	10,9	14,0	11,9	7,4	3,4	— 1,0	— 2,9	3,9
То же при снеговом покрове < 10 см	— 11,0	— 9,3	— 4,9	— 0,9	3,2	10,9	14,0	11,9	7,4	2,3	— 4,8	— 12,7	0,5

Прогрессирующее ухудшение почв в лесах области вечной мерзлоты обусловлено развитием мохового покрова и накоплением торфянистого слоя. Следовательно, для улучшения роста деревьев необходимо в первую очередь не допускать развития мхов и накопление торфа. В тех лесах, где есть торф и мхи, следует минерализовать их, превратив ценные питательные вещества, содержащиеся в них, в соединения, легко поглощаемые корнями растений.

Применение огня для минерализации крайне нецелесообразно, ибо во время пожара улетучиваются соединения азота; значительная часть ценных минеральных солей, содержащаяся в золе, уносится ветром и водой. Часто повторяющиеся пожары лесов ведут к прогрессивному обеднению почвы элементами питания растений.

Нужно так минерализовать торф и мхи, чтобы питательные вещества, заключенные в них, полностью поступили в почву.

Простейшим приемом такой минерализации является внесение извести, которая соединяясь с почвенными кислотами, нейтрализует их. Нейтрализация кислот благоприятствует развитию микроорганизмов, разлагающих растительные остатки, и влечет гибель мхов. После известкования торф и мхи разлагаются, плодородие почвы улучшается, протаивание и прогревание ее усиливаются, вечная мерзлота понижается, почва становится суше, улучшается ее аэрация. Все это благоприятствует росту деревьев и трав (Тыртиков, 1963а).

Усиление роста деревьев после минерализации торфянистого горизонта приводит к увеличению сомкнутости крон и, таким путем, к некоторому понижению температуры почвы в летнее время, что в свою очередь отразится на росте деревьев и трав. Поэтому, для того чтобы температура почвы не понизилась значительно, необходимо не допускать развития сильно сомкнутых древостоев, особенно с преобладанием темнохвойных пород (кедра, ели). Чередование лесных и луговых полос (полей), вероятно, было бы наиболее благоприятным сочетанием для получения наивысшего тепломелиоративного эффекта в северной тайге и лесотундре при наибольшей производительности лесных и луговых (сельскохозяйственных) угодий. Выбор оптимальных размеров лесных и луговых полос и изучение их микроклимата в целях получения наибольших урожаев трав, древесины и сельскохозяйственных культур является одной из важнейших задач дальнейших исследований.

В районах, где выпадает много снега (Западная Сибирь), минерализация мохового покрова и торфянистого горизонта приводит к повышению среднегодовой температуры почвы. При проведении этих мероприятий на большой территории повысится также и среднегодовая температура воздуха, ибо последняя повышается в той же мере, в какой повышается температура почвы на глубине 20 см (Колосков, 1932). Следовательно, при этом улучшатся общие климатические условия северных областей.

В литературе имеются указания на то, что моховой покров и торфянистый горизонт почвы предохраняет почки возобновления,

побеги и корни растений Крайнего Севера от неблагоприятных воздействий арктической природы (Тихомиров, 1952, 1963). Это положительное влияние, однако, никак не может сравниться с отрицательными воздействиями мохового покрова и торфянистого горизонта, которые они оказывают на эдафические условия (понижают температуру, ухудшают аэрацию, питательный и водный режим почв, замедляют жизнедеятельность почвенных организмов и т. п.). Многочисленные наблюдения свидетельствуют о том, что в тундре, лесотундре и северной тайге наиболее пышно развивается травостой, кустарники, наиболее быстро растут деревья там, где нет мохового покрова и торфянистого слоя. В целом, чем пышнее развит моховой покров и больше торфянистый слой, тем беднее видовое разнообразие трав, кустарников и деревьев, тем они угнетеннее. Последнее положение справедливо для большей части тундры, всей лесотундры и тайги. Возможно, лишь в самых северных подзонах тундр и зоне полярных пустынь эта защитная роль мохового и лишайникового покровов является важным фактором в жизни сосудистых растений.

На большей части тундровой зоны, лесотундры и тайги моховой покров и торфянистый горизонт являются неблагоприятными факторами развития большинства сосудистых растений, поэтому их минерализация приводит к ускорению роста, развития и увеличению разнообразия трав, кустарников и деревьев.

Из изложенного не следует, однако, что моховой покров и торфянистый горизонт необходимо повсюду минерализовать. На склонах гор, занимающих огромные площади Восточной Сибири, Дальнего Востока, мхи, лишайники и торфянистый горизонт способствуют формированию почвенного слоя и тем благоприятствуют поселению и развитию сосудистых растений. Моховой покров и торфянистый горизонт являются хорошей защитой льдистых грунтов от развития эрозионно-термокарстовых процессов и т. п. В первом случае минерализация мохового покрова и торфянистого горизонта приводит к ухудшению условий развития растений на склонах гор, которые могут превратиться в каменистые пустыни, а во втором на месте суши формируются болота и озера.

Поэтому минерализацию растительного покрова и торфянистых слоев с целью тепловой мелиорации грунтов и т. п. можно проводить в тех районах (на тех участках), где эти мероприятия не приведут к нежелательным последствиям.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

Увеличение глубины протаивания почвы после уничтожения растительного покрова неоднократно отмечалось различными исследователями. Еще участники Амурской экспедиции (Абрамов, 1913; Бальц, 1913; Сумгин, 1937) указывали, что в Амурской области после удаления торфяно-мохового слоя глубина протаивания почвы увеличивается в 1,5—2,5 раза по сравнению с ненару-

Таблица 83

Средняя глубина протаивания суглинистой почвы под растительным покровом и на участках, лишенных его

Подзона	Район	Растительность	Глубина протаивания, см		Увеличение глубины про- таивания по- сле уничто- жения расти- тельности, см	Автор
			под расти- тельным по- кровом	на обнажен- ных участках		
Пятнистая тундра	Таймырский п-ов	пятнистая тундра	30	65	35	Константи- нова (1956)
Лишайниково-мо- ховая тундра	Западная и Восточная Сибирь	моховые и лишайниково-моховые тундры	35	80	45	Городков (1932) Константи- нова (1961a)
Кустарничковая тундра	Восточная Сибирь	кустарничково-моховые тундры	40	85	45	Наблюдения автора
Лесотундра	Восточная Сибирь	лиственничные редколесья	45	95	50	то же
Северная тайга	Западная Сибирь	редкостойные леса	75	145	70	то же
Средняя тайга	Якутия*	леса	85	175	90	Ефимов (1954)

* Для Якутии приведены обобщенные материалы для суглинков и супесей.

шенными участками. Впоследствии это положение было подтверждено исследователями в других районах (Городков, 1932). Обобщив материалы по протаиванию почв в Амурской области, П. И. Колосков (1950) пришел к выводу, что в условиях горизонтальной поверхности и наиболее распространенных почв после сводки леса и выжигания органического покрова глубина протаивания увеличивается приблизительно на 1 м. Эта закономерность справедлива и для Центральной Якутии (Колосков, 1950), а впоследствии была подтверждена наблюдениями в Западной Сибири (Тыртиков, 1953, 1959) и в Якутии (Ефимов, 1954). После уничтожения растительного покрова типичных ландшафтов тундры, лесотундры и тайги глубина протаивания почвы увеличивается в 1,5—3 раза. Что касается абсолютного увеличения глубины протаивания после уничтожения растительности, то она увеличивается, в целом, с севера на юг. Если в подзоне пятнистых тундр средняя глубина протаивания после уничтожения растительности увеличивается на 35 см, то в средней тайге на 90 см (табл. 83).

Применяя другие мероприятия, способствующие протаиванию почвы, глубина протаивания увеличится еще больше. Для большей части таежной зоны последующая распашка почвы приведет к дополнительному увеличению глубины протаивания приблизительно на 50 см (Колосков, 1950).

Уничтожая растительный покров, можно ускорить протаивание почвы. В районе Игарки в елово-березовом редколесье на участках, где сгорел торфянистый горизонт почвы мощностью 16 см и мох (*Polytrichum commune*), почва к середине июля 1958 г. протаяла в среднем на 81 см, в то время как на ненарушенных пожаром местах — на 22 см. Уже к 16 июля глубина протаивания почвы на гари была в 1,5 раза больше, чем максимальная в конце вегетации (22 сентября) на ненарушенных участках (табл. 84).

Таблица 84

Протаивание суглинистой почвы в елово-березовом редколесье в 1958 г. в районе Игарки

Место наблю- дений	Глубина протаивания, см (средняя из 10 пунктов)						
	16 июля	29 июля	9 августа	19 августа	29 августа	9 сентября	22 сентяб- ря
Торф и мох выгорели	81	104	116	121	127	127	128
Естественные условия	22	28	41	46	53	54	54

Резкое увеличение скорости протаивания почвы в начале вегетационного периода на участках, с которых удален растительный покров, по сравнению с ненарушенными участками свойственно для области вечной мерзлоты.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ

Очевидно, что путем изменения растительного покрова можно регулировать промерзание грунтов.

Наблюдений, регистрирующих промерзание почв после уничтожения растительного покрова, очень мало. Однако на основании материалов, изложенных в I и II главах, следует, что уничтожение любого растительного покрова, за исключением хвойных пород с неоппадающей на зиму хвоей, способствует увеличению промерзания (охлаждения) грунтов.

В областях, где выпадает много снега (Западная Сибирь), для усиления промерзания грунтов необходимо также счищать снег. В северной тайге Западной Сибири на участках, где нет вечномерзлых грунтов, при систематическом удалении снега уже в первую зиму промерзает слой торфа мощностью 2 м или слой суглинка мощностью 4 м. Глубина промерзания в этих случаях в 4 раза больше, чем на участках с ненарушенным растительным и снежным покровом.

Путем сохранения или искусственного разведения растительности, способствующей накоплению снега, можно уменьшить глубину промерзания и степень охлаждения почвы (табл. 85).

Таблица 85

Высота снежного покрова и температура почвы на Амурской опытной станции 20 декабря 1924 г. (по Колоскову, 1925)

Место наблюдений	Высота снежного покрова, см	Температура почвы на глубине 80 см
Поле с оставленными стеблями подсолнечника	54	0,0
Многолетняя залежь (костер безостый)	41	0,0
Осиновый лес с подлеском из орешника	34	-0,1
Пшеничное и овсяное жнивье	28	-1,3
Черный пар	10	-2,8

ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Регулируя растительный и снежный покров, можно управлять развитием вечной мерзлоты. В районах, где температура мерзлых грунтов высокая (не ниже -2 — -3°), а высота снега около 1 м (северная тайга и отчасти лесотундра Западной Сибири, южная тундра и лесотундра европейской части Советского Союза), путем уничтожения растительного покрова и минерализации торфянистых горизонтов почвы, при сохранении естественного снежного покрова в тайге и накоплении его на безлесных участках до 1 м мощностью можно добиться непрерывной деградации вечной мерзлоты. Об этом свидетельствуют многолетние наблюдения в районе Игарки.

В течение 20 лет на площадке размером 10×10 м², с которой был удален растительный покров, а снег не счищался, средняя глубина промерзания суглинистой почвы была равна 1 м, в то время как на такой же площадке, с которой систематически счищался снег, средняя глубина протаивания была равна 144 см. Следовательно, глубина промерзания почв в первом случае была значительно меньше глубины протаивания на площадке, где грунты наиболее сильно охлаждались. Промерзший за зиму слой почвы на первой площадке полностью протаивал в течение некоторой части лета ежегодно на протяжении всего периода наблюдений, а за счет тепла, поступающего в оставшуюся часть теплого периода, протаивала вечная мерзлота. Общее понижение верхней поверхности мерзлоты достигло 4 м. На территории Восточной Сибири, Якутии и Дальнего Востока, примыкающей к южной границе вечной мерзлоты, можно создать условия, обеспечивающие непрерывное протаивание мерзлоты. Об этом свидетельствуют наблюдения в пределах Енисейского края, в Южной Якутии, в низовье Селенджиги. В этих районах после уничтожения растительного покрова вечная мерзлота протаивает полностью обычно в первые десять лет после уничтожения растительности (гл. III).

Таким образом, в пределах пояса шириной 300—500 км, примыкающего к южной границе вечной мерзлоты, при систематическом уничтожении растительного покрова, минерализации торфянистых слоев и накопления снега высотой около 1 м, создаются условия непрерывной деградации вечной мерзлоты. При этом верхний слой мерзлоты толщиной до 10 м протаивает при проведении подобных мероприятий в течение 10—20 лет.

Для территории, расположенной к северу от этого пояса, нет материала, позволяющего судить об эффективности данных мероприятий. Несомненно, что в южной части этой территории путем уничтожения растительного покрова, распахки и т. п., можно значительно (до 1—2 м) понизить верхнюю границу вечной мерзлоты и, вероятно, при значительном систематическом накоплении снега на отдельных участках можно добиться непрерывного протаивания ее верхних слоев.

Вечномерзлые грунты в золотоносных районах затрудняют работу драг, поэтому их предварительно протаивают различными способами. Уничтожение растительности и торфяных слоев в этих районах может быть рекомендовано для предварительного оттаивания вечной мерзлоты за несколько лет до начала дражных работ.

В отмеченном 300—500-километровом поясе сплошного распространения вечной мерзлоты можно искусственно создать устойчивую вечную мерзлоту на таликах. Данное положение подтверждается опытами в районе Игарки. При систематическом удалении снега в течение одной зимы полностью водонасыщенный торф промерзает на 2 м, а суглинок на 4 м. Глубина протаивания торфа не превышает 60 см, а суглинка 165 см. На болоте с водой на поверх-

ности при систематическом удалении снега уже в первую зиму сформировался вечномерзлый слой толщиной 1,3 м, а во вторую он достиг 2,7 м, верхняя часть его сложена сильно льдистым торфом, а нижняя (от 1,6 м до 3,4 м) — суглинками с прослойками льда. Температура мерзлого слоя на глубинах 1,3 и 2,3 м понижалась зимой 1959 г. соответственно до -11° и -3° (Константинова, 1961). На талых участках, сложенных суглинками, при систематическом удалении снега уже в первую зиму формируется вечномерзлый слой толщиной около 2,5 м, а во вторую он увеличивается до 3,5 м. Если применить дополнительные мероприятия, замедляющие или исключаяющие протаивание, то можно проморозить большой слой грунта. Если в конце зимы перекрыть суглинистую почву слоем опилок или торфа толщиной 50 см, то она сверху совершенно не протает и мерзлый слой уже в первый год достигнет почти 4 м. В начале периода промерзания торф или опилки необходимо удалить.

Любые мероприятия, направленные на уничтожение (минерализацию) растительного покрова, вызывают повышение температуры грунтов в летнее время и понижение ее зимой; увеличение глубины промерзания и протаивания, амплитуды температуры грунтов; усиление трещинообразования и эрозивно-термокарстовых процессов; при неравномерном уничтожении растительности — интенсификацию процессов пучения, пятнообразования.

Мероприятия, способствующие развитию растительности (увеличению ее массы, накоплению растительных остатков в почве и на поверхности), имеют следствием: понижение температуры грунтов летом и повышение зимой; уменьшение глубины протаивания, промерзания, амплитуды колебаний температуры грунтов; ослабление трещинообразования и эрозивно-термокарстовых процессов, пучения грунтов при промерзании и пятнообразования.

Эта многосторонность воздействия изменений растительности на температурный режим, протаивание, промерзание грунтов, на развитие мерзлотных форм рельефа усиливается благодаря тому, что динамика растительного покрова влияет на ряд других факторов, играющих существенную роль в теплообмене между почвой и атмосферой, и в первую очередь на снежный покров (его плотность, перераспределение и т. п.). При проведении любых мероприятий, направленных на изменение растительного покрова, необходимо тщательно учитывать все последствия, к которым они могут привести, и избежать нежелательных (вредных) эффектов. Для того чтобы учесть все последствия, к которым может привести то или иное изменение растительного покрова, необходимо тщательно изучить влияние растительности на температурный режим, протаивание, промерзание грунтов, развитие вечной мерзлоты и мерзлотных форм рельефа, геолого-географические и климатические, а главным образом мерзлотные условия районов.

Несомненно, что управление процессами промерзания, протаивания почв, развитием вечной мерзлоты и мерзлотных форм релье-

фа, а также температурным режимом грунтов будет применяться в более широких масштабах при усилении освоения области вечной мерзлоты, как путем регулирования растительного и почвенного покровов, так и с помощью других мероприятий. Без управления этими процессами одни районы вообще нельзя освоить, а освоение других будет сопряжено с развитием ряда явлений, которые значительно затруднят и удорожат использование природных ресурсов. Способы управления этими процессами будут различны в зависимости от конкретных задач и условий районов, в которых они проводятся. Для сельскохозяйственных целей задачи и методы будут одни, для строительства, разработки полезных ископаемых — другие (Городков, 1930).

Региональные особенности управления теплообменом между почвой и атмосферой, температурным режимом, протаиванием и промерзанием почв, развитием вечной мерзлоты и мерзлотных форм рельефа путем регулирования растительного и почвенного покровов необходимо еще глубоко изучать. При этом наиболее важно количественно оценить эффективность этих мероприятий в различных районах.

ЛИТЕРАТУРА

Абельс Г. Суточный ход температуры снега и зависимость между теплопроводностью снега и его плотностью. СПб., 1893.

Абрамов И. Н. Метеорологические и сельскохозяйственные наблюдения на ст. Бомнак за лето 1910 г. «Тр. Амурской экспедиции», вып. 14. СПб., 1913.

Александрова В. Д. Изучение смен растительного покрова. Сб. «Полевая геоботаника», т. 3. М.—Л., «Наука», 1964.

Ананьева Л. М. Тепловой баланс лесной поляны. Сб. «Тепловой баланс леса и поля». М., Изд-во АН СССР, 1962.

Ананян А. А. Исследование процессов перемещения влаги и образования сегрегационного льда в мерзлых породах. «Тр. Гидропроекта», сб. 3. М., 1960.

Андреев В. Н. Растительность тундры Северного Канина. Сб. «Оленьи пастбища Северного края». Архангельск, 1931.

Андреев В. Н. Мороз раскалывает деревья. «Природа», 1962, № 3.

Архипова Е. П., Глебова М. А., Голубева Т. А., Романова Е. Н. Некоторые данные по тепловому балансу на осушенном болоте и на суходоле. «Тр. Главной геофизической обсерватории», вып. 49 (111). Л., Гидрометеиздат, 1955.

Бальц В. А. Материалы и наблюдения Пиканской метеорологической станции за лето 1910 года. «Тр. Амурской экспедиции», вып. 14. СПб., 1913.

Бальц В. А., Прохоров Н. И. Материалы и наблюдения Бомнакской метеорологической станции за лето 1909 года. «Тр. Амурской экспедиции», вып. 14. СПб., 1913.

Бегак Д. А. Прирост торфяника «Галицкий мох». «Тр. Н.-и. торфяного ин-та», вып. 1. М., 1928.

Безайс Э. К. Условия почвообразования на Камчатке. «Мат-лы по изучению русских почв», вып. 12. СПб., 1911.

Берг Л. С. Основы климатологии. Л., 1938.

Биркенгоф А. Л. О южной границе вечной мерзлоты в озерной области нижнего Амура. «Тр. Комитета по вечной мерзлоте», т. 9. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.

Биркенгоф А. Л. Из наблюдений над лесным покровом и вечной мерзлотой (в бассейне р. Индигирки). «Тр. Комиссии по изучению вечной мерзлоты», т. 3. Л., Изд-во АН СССР, 1934.

Васильев И. С. Промерзание и оттаивание почвы в условиях Подмосковья. «Почвоведение», 1952, № 9.

Воейков А. И. Избр. сочинения, т. 1. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948.

Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. М., ИЛ, 1960.

Говорухин В. С. Пятнистые тундры и пликвативные почвы Севера. «Землеведение», т. 5 (45). Изд-во МГУ, 1960.

Городков Б. Н. Крупнобугристые торфяники и их географическое распространение. «Природа», 1928, № 6.

Городков Б. Н. Вечная мерзлота и растительность. Сб. «Вечная мерзлота». Мат-лы КЕПС № 80. Л., Изд-во АН СССР, 1930.

Городков Б. Н. Почвы Гыданской тундры. «Тр. Полярной комиссии», вып. 7. Л., Изд-во АН СССР, 1932.

Городков Б. Н. Вечная мерзлота в Северном крае. «Тр. СОПСа», серия северная, вып. 1. Л., Изд-во АН СССР, 1932а.

Городков Б. Н. Основные черты развития микрорельефа на Крайнем Севере и его взаимосвязи с почвами и растительностью. Сб. «Физика почв СССР». М., 1936.

Городков Б. Н. Тундры Обь-Енисейского водораздела. «Советская ботаника», 1944, № 3—5.

Городков Б. Н. Движение растительности на севере лесной зоны Западно-Сибирской низменности. Сб. «Проблемы физической географии», вып. 12. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946.

Городков Б. Н. Морозная трещиноватость грунтов на севере. «Изв. Всес. геогр. о-ва», 1950, т. 82, вып. 5.

Городков Б. Н. Растительность и почвы о. Котельного (Новосибирский архипелаг). Сб. «Растительность Крайнего Севера СССР и ее освоение», вып. 2. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1956.

Граев Н. А., Некрасов И. А. Некоторые наблюдения за термокарстом в районе поселка Анадырь. «Проблемы Севера», вып. 4. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Дадыкин В. П. Особенности поведения растений на холодных почвах. М., Изд-во АН СССР, 1952.

Достовалов Б. Н. Изменение объема рыхлых горных пород при промерзании и образование морозобойных трещин. «Мат-лы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов», сб. 3. М., Изд-во АН СССР, 1957.

Драницын Д. А. О некоторых зональных формах рельефа Крайнего Севера. «Почвоведение», 1914, № 4.

Дубах А. Д. Лес как гидрологический фактор. М.—Л., Гослесбумиздат, 1951.

Ефимов А. И. К вопросу о развитии термокарстовых озер в Центральной Якутии. Сб. «Исследование вечной мерзлоты в Якутии», вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1950.

Ефимов А. И. Мерзлотные условия Центральной Якутии. Сб. «Мат-лы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии». М., Изд-во АН СССР, 1954.

Жуков В. М., Самарина Н. Н. Результаты тепловых балансовых наблюдений на открытых участках. Сб. «Тепловой баланс леса и поля». М., Изд-во АН СССР, 1962.

Зайцев Б. Д. Лес и почва. М.—Л., Гослесбумиздат, 1949.

Зольников В. Г. Почвы восточной половины Центральной Якутии и их использование. Сб. «Мат-лы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии». М., Изд-во АН СССР, 1954.

Иванова Е. Н., Полинцева О. А. К вопросу о генезисе подзолов с гумусовым иллювиальным горизонтом на продуктах выветривания нефелиновых сиенитов Хибинского массива. «Проблема советского почвоведения», сб. 1. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1936.

Иванова Е. Н., Полинцева О. А. Почвы европейских тундр. «Тр. Коми филиала АН СССР», сер. геогр., вып. 1. Сыктывкар, 1952.

Иванова Е. Н. Некоторые закономерности почвенного покрова в тундре и лесотундре побережья Обской губы. Сб. «О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири». М., Изд-во АН СССР, 1962.

Качинский Н. А. Замерзание, разморозание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. М., 1927.

Кац Н. Я. Болота Европейской части СССР. «Ботанический журнал СССР», 1936, т. 21, № 3.

Кац Н. Я. Болота Советской Азии. «Бюлл. МОИП», отд. биол., 1946, т. 61, № 2.

Кац Н. Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М., Географгиз, 1948.

Кац Н. Я., Пьянченко Н. И. Бугристые торфяники, рецензия. «Бюлл. МОИП», отд. бнот., 1956, т. 71, № 3.

Квашнин-Самарин Н. В. К вопросу о мерзлоте, как факторе почвообразования в западной части Амурской области и на Олекминском водоразделе. «Мат-лы по изучению русских почв», вып. 12. СПб., 1911.

Квашнин-Самарин Н. В. О некоторых наблюдениях над микрорельефом мерзлоты и его значении. «Мат-лы по изучению русских почв», вып. 23. СПб., 1913.

Китредж Дж. Влияние леса на климат, почвы и водный режим. М., ИЛ, 1951.

Климовский И. В. Характеристика сезоннопротаивающего слоя грунтов в северо-восточной части Лено-Вилуйского междуречья. Сб. «Вопросы географии Якутии», вып. 2. Якутск, 1962.

Колосков П. И. К вопросу о влиянии распахки целинных почв на их температуру. «Изв. метеорологического бюро Амурского района», вып. 3. Благовещенск, 1915.

Колосков П. И. К вопросам травосеяния в Амурской губернии. «Изв. Амурской обл. с.-х. опытной станции», вып. 2. Благовещенск, 1924.

Колосков П. И. Климатические основы сельского хозяйства Амурской губернии. Благовещенск, 1925.

Колосков П. И. К вопросу о тепловой мелиорации в областях вечной мерзлоты и глубокого зимнего промерзания почвы. Сб. «Вечная мерзлота». Мат-лы КЕПС № 80. Л., Изд-во АН СССР, 1930.

Колосков П. И. Отношение температуры почвы к температуре воздуха в области вечной мерзлоты, как показатель с.-х. возможностей. «Тр. Комис. по изучению вечной мерзлоты», т. 1. Л., Изд-во АН СССР, 1932.

Колосков П. И. Ближайшие задачи и методы изучения сезонной мерзлоты почв. «Мерзлотоведение», 1946, т. 1, вып. 2.

Колосков П. И. О причинах и следствиях таяния грунтового льда в Центральной Якутии. Сб. «Исследования вечной мерзлоты в Якутии», вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1950.

Кобезский И. Д. Противозрозионная роль лесной растительности. «Лесное хозяйство», 1941, № 6.

Кондратьев К. Я. Лучистая энергия солнца. Л., Гидрометеиздат, 1954.

Константинова Г. С. О бугристом рельефе торфяников на Кольском полуострове. «Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева», т. 13. М., Изд-во АН СССР, 1953.

Константинова Г. С. О развитии некоторых форм тундрового микро-рельефа. «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1956, № 3.

Константинова Г. С. Изменение геокриологических условий в зависимости от снежного покрова в естественных условиях района Игарки. Фонды Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева. М., 1959.

Константинова Г. С. Влияние снежного покрова на динамику сезонно-и многолетнемерзлых пород. «Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева», т. 17. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Константинова Г. С. Многолетнемерзлые породы долин Енисейско-Пясинского севера. «Тр. Игарской н.-и. мерзлотной станции Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева», вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1961а.

Константинова Г. С. О влиянии снега на температуру многолетнемерзлых пород в бассейне Пясины и в низовьях Енисея. Сб. «Снежный покров, его распространение и роль в народном хозяйстве». М., Изд-во АН СССР, 1962.

Константинова Г. С. Особенности развития многолетнемерзлых пород Игарско-Хантайского р-на в послеледниковое время. «Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева», т. 19. М., Изд-во АН СССР, 1962а.

Константинова Г. С. О криогенных образованиях в районе Большого Хантайского порога. Сб. «Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР». М., Изд-во АН СССР, 1963.

Костин С. И., Покровская Т. В. Климатология. Л., Гидрометеиздат, 1961.

Кошляков К. В. Полнее использовать лучистую энергию солнца на открытых горных разработках. «Колыма», 1953, № 7.

Крючков В. В. Некоторые факторы полярного рельефообразования, снижающие верхнюю границу древесной растительности в Хибинских горах. Сб. «Вопросы физической географии полярных стран», вып. 1. Изд-во МГУ, 1958.

Кузнецов Н. И. Лайды в низовьях р. Енисея, их строение, образование и место в классификационной системе болотно-лесных образований. «Тр. Полярной комиссии», вып. 12. Л., Изд-во АН СССР, 1932.

Кушев С. Л. Морфология и генезис бугристых марей и их географическое распространение. «Тр. Комитета по вечной мерзлоте», т. 8. Л.—М., Изд-во АН СССР, 1939.

Левицкий А. К. К вопросу об эволюции болот Амурской области. «Почвоведение», 1910, т. 12, № 1.

Ливеровский Ю. А. Почвы тундр Северного края. «Тр. Полярной комиссии», вып. 19. Л., Изд-во АН СССР, 1934.

Ливеровский Ю. А. О морозном выветривании и почвообразовании в тундре. «Проблемы северного почвоведения», сб. 7. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1939.

Лохов В. П. Водоудерживающая способность насаждения и методы ее исследования. «В защиту леса», 1938, № 4.

Марин Н. О. О таянии снега в лесу. «Метеорологический вестник», т. 1. СПб., 1891.

Миддендорф А. Ф. Путешествие на север и восток Сибири, ч. 1. СПб., 1863.

Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. М., Изд-во АН СССР, 1960.

Молчанов А. А. Лес и климат. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Мордвинов А. И. Рельеф и вечная мерзлота левобережья Среднего течения р. Биссы и прилегающих предгорий западного склона Туранского хребта. «Тр. Комитета по вечной мерзлоте», т. 9. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.

Мосиенко Н. А. Промерзание и оттаивание почвы в условиях Кулундинской степи. «Почвоведение», 1957, № 1.

Мышковская Е. Е. Метеорологические, почвенные и ботанико-географические наблюдения на станции Бомнак за лето 1910 г. «Тр. Амурской экспедиции», вып. 14. СПб., 1913.

Нарциссов В. П. Температурные изменения и структура почвы. «Тр. Горьковского с.-х. ин-та», 1950, т. 6, вып. 2.

Нестеров Н. С. Леса и наводнения. «Лесопромышленный вестник», 1909, № 4.

Нестеров Н. С. Очерки по лесоведению. М., 1933.

Павловский М. А. Зимняя конденсация влаги в верхних горизонтах дерново-подзолистых почв (под различными угодьями и при различной глубине обработки). «Почвоведение», 1952, № 9.

Панов Д. Г. Полигональные образования Канинской тундры. «Изв. Гос. геогр. о-ва», 1933, т. 65, вып. 4.

Печуров А. Ф., Каплан М. А. Определение глубины промерзания и оттаивания торфяных болот. Сб. «Освоение заболоченных земель». М.—Л., Изд. ВАСХНИЛ, 1937.

Писарев Г. Ф. Вечная мерзлота в Тункинской котловине. «Тр. Комис. по изучению вечной мерзлоты», т. 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1935.

Поздняков Л. Н. Влияние растительности на глубину летнего оттаивания почвы в Верхоянском районе. «Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева», т. 9. М., Изд-во АН СССР, 1952.

Полынцева О. А., Иванова Е. Н. Комплексы пятнистой тундры Хибинского массива и их эволюция в связи с эволюцией почвенного и растительного покрова. «Тр. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева», т. 8. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1936.

Попов А. И. Вечная мерзлота в Западной Сибири и ее изменение в четвертичный период. «Мерзлотоведение», 1947, т. II, № 2.

- Попов А. И. Вечная мерзлота в Западной Сибири. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Прянишников А. В. Залужение тундры. «Ботанический журнал», 1954, т. 39, № 1.
- Пьявченко Н. И. Бугристые торфяники. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Пятецкий Г. Е. Снежный покров, промерзание и оттаивание лесных почв в южной части Карелии. «Изв. Карельского и Кольского филиалов АН СССР». Петрозаводск, 1959.
- Раунер Ю. Л. Тепловой баланс леса. «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1960, № 1.
- Раунер Ю. Л., Руднев Н. И. Некоторые данные о радиационном режиме леса. Сб. «Тепловой баланс леса и поля». М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Романов В. В. Гидрофизика болот. Л., Гидрометеониздат, 1961.
- Розен М. Ф. Наблюдения над распространением вечной мерзлоты в дельте Печоры. «Тр. Комис. по изучению вечной мерзлоты», т. 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Л., Гидрометеониздат, 1950.
- Сахаров М. И. Радиация и альbedo в лесных фитоценозах. «Метеорология и гидрология», 1940, № 5—6.
- Сахаров М. И. Промерзание и размерзание почвы в лесных фитоценозах. «Метеорология и гидрология», 1938, № 11—12.
- Сахаров М. И. Факторы, регулирующие промерзание почв в лесных фитоценозах. «Почвоведение», 1945, № 8.
- Сахаров М. И. Зависимость температурного режима почвы от лесного покрова. «Почвоведение», 1948, № 3.
- Сигафус Р. С., Голкинс Д. М. Неустойчивость грунтов на склонах в районах вечной мерзлоты. Сб. «Мерзлотные явления в грунтах». М., ИЛ, 1955.
- Солдатенкова Ю. П. Температурный режим почвы и температура напочвенного покрова в различных растительных сообществах в районе Салехарда. «Вестн. Моск. ун-та», сер. биол., почвовед., 1965, № 6.
- Соловьев П. А. Геотермическая характеристика аласного термокарстового ландшафта междуречья Лены и Амги. Сб. «Исследования вечной мерзлоты в Якутии», вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Сочава В. Б. Тундровые формы микрорельефа в Приамурье. «Природа», 1944, № 5—6.
- Сочава В. Б. О пятнистых тундрах Анадырского края. «Тр. Полярной комиссии АН СССР», вып. 2. Л., Изд-во АН СССР, 1930.
- Станкевич Е. Ф. Об относительном значении вечной мерзлоты и растительности в образовании рельефа равнинных тундр. «Изв. Всес. геогр. о-ва», 1958, т. 90, вып. 2.
- Сукачев В. Н. К вопросу о влиянии мерзлоты на почву. «Изв. АН СССР», сер. VI, 1911, т. 5, № 1.
- Сумгин М. И. Краткий курс дорожной геофизики. М., 1931.
- Сумгин М. И. К вопросу о вечной мерзлоте в торфяных буграх на Кольском полуострове. «Тр. Комитета по вечной мерзлоте», т. 3. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1934.
- Сумгин М. И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. М., 1937.
- Сумгин М. И. Еще несколько слов о вечной мерзлоте в торфяных буграх на Кольском полуострове. «Тр. Комитета по вечной мерзлоте», т. 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1938.
- Сумгин М. И. К вопросу о перспективах изучения вечной мерзлоты в Якутии. «Тр. Комитета по вечной мерзлоте», т. 9. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.
- Танфильев Г. И. Пределы лесов в полярной России. Одесса, 1911.
- Тихомиров Б. А. Динамические явления в растительности пятнистых тундр Арктики. «Ботанический журнал», 1957, т. 42, № 11.
- Тихомиров Б. А. Значение мохового покрова в жизни растений Крайнего Севера. «Ботанический журнал», 1952, т. 37, № 5.

- Тихомиров Б. А. Очерки по биологии растений Арктики. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1963.
- Ткаченко М. Е. Водоохраннозащитное значение леса. «На лесокультурном фронте», 1932, № 1—3.
- Толстов А. Н. Осадка грунтов при оттаивании в естественных условиях. «Колыма», 1963, № 10.
- Тольский А. П. Температура почвы в сосновых насаждениях Бузулукского бора. «Метеорологический вестник», т. 29. Пг., 1919.
- Тыртиков А. П. Протаивание почвы в районе Игарки. «Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева», т. 12. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Тыртиков А. П. Растительность низовьев Яны. «Бюлл. МОИП», отд. биол., 1956, № 1.
- Тыртиков А. П. Протаивание почвы в районе Игарки в зависимости от растительного покрова. «Фонды Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева». М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Тыртиков А. П. Влияние экспозиции и некоторых компонентов растительного и почвенного покровов на температурный режим почвы у северной границы тайги. «Почвоведение», 1962, № 7.
- Тыртиков А. П. Болотная растительность — индикатор немерзлых отложений в северной тайге Западной Сибири. Сб. «Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР», М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Тыртиков А. П. Вопросы улучшения роста деревьев на севере Западной Сибири. Сб. «Проблемы Севера», вып. 8. М., Изд-во АН СССР, 1963а.
- Тыртиков А. П. Динамика растительного покрова и формирование бугров-могильников. Сб. «Жизнь земли». Изд-во МГУ, № 4, 1967.
- Тумель В. Ф. О некоторых изменениях мерзлотного режима грунтов в связи с выгоранием растительных покровов. «Тр. Комитета по вечной мерзлоте», т. 8. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1939.
- Тюремнов С. Н. Микроклиматические наблюдения на верховом болоте. «Тр. Н.-и. торфяного ин-та», вып. 1. М., 1928.
- Тюлина Л. Н. О лесной растительности Анадырского края и ее взаимоотношении с тундрой. «Тр. Арктического ин-та», т. 40. Л., 1936.
- Тютюнов И. А. Возникновение и развитие мелкобугристого микрорельефа тундры. «Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева», т. 12. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Цинзерлинг Ю. Д. География растительного покрова северо-запада европейской части СССР. «Тр. Геоморфологического ин-та», вып. 4. Л., 1934.
- Цинзерлинг Ю. Д. Материалы по растительности северо-востока Кольского полуострова. «Тр. СОПС», сер. кольская, вып. 10. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Цыпленкин Е. И. Почвенно-агрономические исследования на Крайнем Севере. «Тр. Всес. н.-и. ин-та удобрений, агротехники и агропочвоведения им. К. К. Гедройца», вып. 19. М., 1937.
- Цыпленкин Е. И. Вечная мерзлота и ее агрономическое значение. «Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева», т. 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1944.
- Цытович Н. А. Принципы механики мерзлых грунтов. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Шумилова Л. О бугристых торфяниках южной части Туруханского края. «Изв. Томского отд. русского ботанического о-ва», 1931, т. 3, № 1—2.
- Шэбека В. Ф., Брагілеуская З. А. Некоторые данные о балансе радиационного баланса у поверхности болот. Вестн. Академії наук БССР, сер. фізі.-техн. наук, 1956, № 4.
- Эйтинген Г. Р. Влияние леса на выпадение атмосферных осадков на лесную почву. «На лесокультурном фронте», 1932, № 3.
- Эйтинген Г. Р. Снежный покров в лесу и в поле. «Лесное хозяйство», 1939, № 2.

- Asling H. C. Evaporation and radiation heat balance at the soil surface. «Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie», Serie B, 1960, Bd. 10, Nr. 3.
- Bedford F. Climates in miniature. London, 1955.
- Benninghoff W. S. Interaction of vegetation and soil frost phenomena Arctic, 1952, vol. 5, No. 1.
- Egle K. Zur Kenntnis des Lichtfeldes und der Blattfarbstoffe. «Planta», 1937, Nr. 26.
- Geiger R. Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig, 1961.
- Hall N., Russel V. S., Hamilton C. D. Trees and microclimate. Climatology and microclimatology. UNESCO, Paris, 1958.
- Kihlman A. O. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. Helsingfors, 1890.
- Linke F. Niederschlagsmessungen unter Bäumen. Zs. «Meteorologische», Bd. 38 (56). Braunschweig, 1921.
- Pennman H. L. The role of vegetation in meteorology, soil mechanics and Hydrology. «British j. of applied Physics», 1951, vol. 2, No. 6.
- Pewe T. L. Permafrost and its effect on life in north. Arctic Biology», 1957.
- Taber S. Perennially frozen ground in Alaska, its origin and history. «Bull. Geol. Soc. Amer.», 1943, vol. 54, No. 10.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Влияние растительности на теплообмен и влагообмен между почвой и атмосферой	5
Глава II. Влияние отдельных компонентов растительного покрова на температуру, промерзание и протаивание почв	26
Глава III. Взаимосвязь динамики растительного покрова с протаиванием и промерзанием грунтов	48
Глава IV. Динамика растительного покрова и развитие мерзлотных форм рельефа	120
Глава V. Изменение температуры, промерзания, протаивания грунтов и вечной мерзлоты с помощью регулирования растительного покрова	173
Литература	186

96 коп.