

А. П. ТЫРТИКОВ



**ДИНАМИКА
РАСТИТЕЛЬНОГО
ПОКРОВА
И РАЗВИТИЕ
МЕРЗЛОТНЫХ
ФОРМ РЕЛЬЕФА**

Лоси

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
МОСКОВСКОЕ ОБЩЕСТВО
ИСПЫТАТЕЛЕЙ ПРИРОДЫ



А. П. ТЫРТИКОВ

ДИНАМИКА
РАСТИТЕЛЬНОГО
ПОКРОВА
И РАЗВИТИЕ
МЕРЗЛОТНЫХ
ФОРМ РЕЛЬЕФА



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"

Москва 1979

Тыртыков А.П. Динамика растительного покрова и развитие мерзлотных форм рельефа. М.: Наука, 1979, 116с.

В монографии изложены результаты многолетних исследований развития наиболее распространенных форм рельефа (пятнистых тундр, полигональных болот, бугристых торфяников) в связи с динамикой растительного покрова. Работа написана на основе материалов, полученных автором в тундре и лесотундре Сибири, Якутии, в различных районах северной тайги Западной Сибири. В процессе изучения форм рельефа уточнено их географическое распространение, выяснены условия развития. В монографии содержится критический анализ гипотез происхождения мерзлотных форм рельефа и оригинальные выводы о их динамике, показано их палеогеографическое значение, в частности, для реконструкции климата и вечной мерзлоты прошлого, а также для прогноза развития вечной мерзлоты и для индикации состава и свойств мерзлых грунтов, условий дренажа, направления мерзлотных процессов.

Книга рассчитана на геоботаников, геологов, мерзлотоведов, географов и почвоведов.

26 рис. 12 табл. Библ. 97 назв.

Ответственный редактор

доктор биологических наук, профессор

Т.А. РАБОТНОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В работе обобщен материал о развитии пятнистых тундр, полигональных болот и крупнобугристых торфяников в связи с динамикой растительного покрова. Эти формы рельефа занимают огромные территории в Арктике и Субарктике, нередко определяя облик главнейших ландшафтов. Описанные еще в прошлом столетии, отмеченные формы рельефа привлекают внимание все более широкого круга исследователей Севера: географов, геологов, мерзлотоведов, геоботаников, почвоведов. Особенно усилилось изучение рельефа Севера с середины текущего столетия в связи с широким размахом промышленного освоения районов Арктики и Субарктики.

В процессе исследования данных форм рельефа был получен разно-сторонний материал, проливающий свет на их происхождение и развитие, выдвинуто множество гипотез, объясняющих генезис и динамику этих образований. Обилие гипотез свидетельствует о сложности их формирования и развития, а также о том, что необходимы дальнейшие тщательные исследования в этом направлении.

Закономерности, вскрывающие взаимосвязь развития форм рельефа Севера с динамикой растительного покрова, изучены пока слабо. Выяснение этих закономерностей в связи с динамикой растительности существенно важно не только для познания специфики рельефообразования на Севере.

С открытием и разработкой богатейших месторождений нефти и газа началось интенсивное освоение Севера Западной Сибири, сопровождающееся нарушением и уничтожением растительного покрова на больших площадях. Вследствие этого изучение развития рельефа в связи с динамикой растительного покрова является весьма актуальным.

Специальные исследования формирования и развития наиболее распространенных форм рельефа в связи с динамикой растительного покрова были включены в программу работ по межфакультетской проблеме "Природные ресурсы Западной Сибири и их народнохозяйственное использование".

В работе изложены результаты многолетних исследований в тундрах Западной Сибири (полуострова Ямал, Гыдан, Тазовский), в тундрах и лесотундре Восточной Сибири, Северо-Востока Якутии, в различных районах северной тайги и лесотундры на пространстве от Енисея до Оби.

В процессе исследований применялся метод сравнительного изучения растительных сообществ, составляющих пространственные экологические ряды [Александрова, 1964], на основании которых устанавливали

сукцессионные (временные) связи между этими сообществами. Последовательно сменяющиеся сообщества представляют собой отдельные стадии развития растительного покрова. Каждая стадия охарактеризована на основе многих описаний растительности и включает обычно несколько ассоциаций одной группы. Поэтому при характеристике стадий (групп ассоциаций) указываются все доминирующие виды ассоциаций, входящих в эту группу. Ясно, что при таком способе описания стадий сумма проективных покрытий только доминирующих видов одного яруса часто превышает 100%.

Автор придерживается зональных подразделений растительности Б.Н. Городкова [1935, 1946].

Я благодарю ответственного редактора профессора Т.А. Работнова и профессоров Ю.А. Ливеровского и А.И. Попова за ценные критические замечания и помощь при подготовке рукописи к печати.

1. РАЗВИТИЕ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ПЯТНИСТЫХ ТУНДР

Пятнистые тундры различного происхождения описаны многими исследователями [Танфильев, 1911; Сукачев, 1911; Аболин, 1913; Драницын, 1914; Городков, 1926, 1932а, 1939, 1950, 1956, 1958; Сочава, 1930, 1944; Ревердатто, 1931; Ливеровский, 1934; Говорухин, 1936, 1960; Тихомиров, 1957; Попов, 1967, Караваева, Полтева, 1967; Игнатенко, Норин, 1969, 1970; Караваева, 1969; и др.].

Среди разнородных пятнистых тундр наиболее широко распространены в Арктике своеобразные пятнистые тундры, характеризующиеся довольно правильным (шахматным) расположением пятен голой или слабозаросшей почвы, оконтуренных, как рамкой, сплошным растительным покровом. Растительный покров образует сетку, состоящую из многоугольников (рамок) или колец. Вследствие этого такие тундры были названы полигональными [Городков, 1950]. Пятнистые тундры образуют своеобразный ландшафт арктических (полярных) пустынь, поэтому Б.Н. Городков полигональные тундры в зоне полярных пустынь называл просто арктическими (полярными) пустынями [Городков, 1950].

Полигональные пятнистые тундры нередко смешивают с полигонально-валиковыми болотами, также распространенными в тундре и характеризующимися рамковым расположением растительности.

В данном разделе работы излагаются материалы, относящиеся в основном к полигонально-пятнистым тундрам, характеризующимся сетчатой структурой растительного покрова.

Наибольшую площадь полигональные тундры занимают в высокоширотной Арктике — в зоне полярных пустынь и в подзоне арктических тундр. К югу от арктических тундр площадь их заметно уменьшается, а в подзоне кустарниковых тундр и в лесотундре они встречаются спорадически.

Полигональные тундры располагаются обычно на дренированных и подверженным ветрам участках, почти оголенных от снега (на вершинах и верхних частях склонов холмов, увалов, террас и т.п.). Полигональные тундры развиваются на суглинистых, супесчаных и пылевато-мелкопесчаных почвах.

Существует много гипотез по вопросу образования пятнистых тундр, однако до сих пор в объяснении их формирования много неясного [Игнатенко, Норин, 1969].

Пожалуй, наиболее общепризнанной среди ботаников и географов является денудационная теория, высказанная Чильманом [Kjelman, 1883], Г.И. Танфильевым [1911] и наиболее подробно разработанная Б.Н. Городковым [1926, 1932а, 1939, 1950, 1956, 1958].

Чильман связывал полигональную пятнистость сибирских тундр с образованием морозных трещин в почве и действием зимних ветров. Земля зимой на сильно обдуваемых ветром местах растрескивается на полигональные отдельные участки. Растительность поселяется в трещинах-понижениях, где она защищена снегом, а на повышениях, где снег сдувается, растительность вымораживается и уничтожается снеговой коррозией, в результате создается "рамковое" расположение растительности.

Б.Н. Городков [1926, 1932а, 1950] так рисует развитие полигональных пятнистых тундр. В верхних частях холмов, где очень мало снега, поверхность почвы зимой покрывается густой сетью морозных трещин, разбивающих ее на многоугольники. В последующие зимы трещины повторно возобновляются на прежних местах. В результате осыпания краев трещин образуются ложбинки-канавки и бугорки между ними. Под влиянием зимних ветров, а также снеговой коррозии растительный покров на бугорках уничтожается, сносится с них также отчасти и мелкозем, обнажается голый грунт. Растительность сохраняется лишь по трещинам-желобкам.

Таким образом, Б.Н. Городков считал, что полигональные пятнистые тундры (по терминологии Городкова — "сухая пятнистая тундра, полигональные арктические пустыни") формируются в результате оголения (денудации) покрытых растительностью полигональных отдельных участков, возникающих вследствие морозобойного растрескивания грунтов.

Эту теорию поддерживали и развивали многие исследователи [Самбук, Дедов, 1933; Тихомиров, 1957; Игнатеико, Норин, 1969; и др.].

Изучая растительность полярной пустыни островов Врангеля и Котельного, где, казалось бы, наиболее ярко должно проявляться воздействие на растительность "денудирующих" факторов (зимних ветров, морозов, снеговой коррозии), Б.Н. Городков [1956, 1958] обнаружил ряд факторов, которые было весьма затруднительно объяснить с позиций этой теории. Так, в работе, посвященной растительности острова Врангеля, Б.Н. Городков писал: "Некоторые цветковые растения оказываются настолько выносливыми, что произрастают на совершенно открытых пятнах полигональных пустынь, причем типичными для пятен оказываются как формы, обычно растущие на малоснежных местообитаниях, так и растущие на заносимых снежными сугробами местах. По-видимому, дело сводится лишь к большей способности некоторых видов переносить исключительно трудные зимние условия" [1958, с. 20].

Б.Н. Городков обнаружил на острове Врангеля кустарниковый ярус из *Salix glauca* в сочетании с "обнаженными, как бы коррадированными голыми пятнами" — явление совершенно необъяснимое с позиций рассматриваемой теории.

Исследуя подобные явления, а также наблюдая развитие сплошного растительного покрова на удобренных сточными водами участках арктических пустынь острова Котельного, хотя по своему положению эти заросшие участки ничем не отличаются от неудобряемых соседних полуоголенных арктических пустынь, Б.Н. Городков ясно представлял неполноту денудационной теории, отмечая, в частности: "Отчего возникает сеть трещин в почве арктических пустынь и почему эти трещины зарас-

тают сомкнутой дерновиной, между тем как промежутки между ними остаются почти лишенными растительности? Мы в состоянии дать удовлетворительный ответ на первый вопрос, но причина лишь частичного зарастания земной поверхности в зоне арктических пустынь до сих пор не разрешена" [Городков, 1956, с. 67].

Рассматривая коренной вопрос проблемы возникновения пятнистых тундр: каким путем возникают пятна — Б.Н. Городков [1956] писал, что разорванность растительного покрова может быть результатом неустойчивости и текучести (солифлюкции) мокрой мелкоземистой породы, выпячивания грунта при замерзании верховодок в деятельном слое, разрушения растительности зимними ветрами и метелями. Эти причины неоспоримо существуют и вызывают образование оголенных пятен в Арктике, но объяснить ими повсеместную разорванность растительного покрова арктических пустынь нельзя. Наиболее общее значение имеет воздействие снеговой коррозии при частых зимних метелях, разрушающих почву и растительность на открытых малоснежных пространствах.

Б.Н. Городков обращает внимание на то, что почвы арктических пустынь малоплодородны, особенно они бедны азотом, а накопление органических остатков затрудняется ветрами и метелями. Растительность, особенно цветковая, не в состоянии противостоять сплывшим воздействиям, за исключением случаев, когда почва удобрена и разрыхлена плотным дерн, защищающий почву и задерживающий снег. В ложбинках трещин образуются более благоприятные условия для снабжения растений усвояемым азотом, так как в них накапливаются растительные и животные остатки, а также снег, летом они лучше увлажняются, удобряются леммингами, насекомыми, червями. Таким путем создается два типа местообитаний — один на оголенных пятнах, подверженных всем неблагоприятным условиям арктического климата зимой и летом, и другой — в морозных трещинах, довольно защищенных и удобренных животными и растительными остатками.

Лишь немногие цветковые удерживаются на пятнах вместе с синезелеными водорослями, печеночниками и накипными лишайниками. Суровый климат крайней Арктики задерживает развитие растительности и почвы на пионерных стадиях, отсюда и своеобразное строение растительности — сравнительно правильная сетка морозных трещин подчеркивается уплотненной растительностью, свойственной им, а полуоголенные ячеи едва отличаются от материнской породы. На сравнительно плодородных и защищенных участках вдоль трещин образуется довольно плотная дерновины, задерживающая снег более растительностью, чем углубленностью ложбин-трещин [Городков, 1956, с. 73].

Факты зарастания пятен даже в арктических пустынях настолько не укладывались в рамки денудационной теории, что Б.Н. Городков в последних работах придавал ей весьма ограниченное значение, отмечая: "По-видимому, лишь на особо открытых метелями местах механическое воздействие играет основную роль, в большинстве же случаев закаленные арктические цветковые при наличии удобрения способны противостоять ярости зимних стихий, находя защиту в мхах и лишайниках" [Городков, 1956, с. 73].

С критикой денудационной теории выступил В.С. Говорухин [1936], отмечая, что эта теория не может объяснить факты зарастания пятен, так как исходит из положения о том, что полигональные пятнистые тундры возникли на месте сплошного растительного покрова. В.С. Говорухин полагал, что пятнистая полигональная тундра возникает вначале на совершенно голой поверхности плоских вершин, перевалов, которая разбивается трещинами на полигональные отдельные. Растительность вначале заселяет ложбинки, образовавшиеся на месте трещин, и таким образом формируется полигональная пятнистая тундра ("сухая пятнистая тундра" Б.Н. Городкова), а в дальнейшем пятна могут зарости.

Следовательно, В.С. Говорухин считал, что пятна появились раньше растительности, и отмечал: "Заросшая, вполне деградировавшая пятнистая тундра нередко встречалась нами на наиболее выпуклых открытых участках горных плато, где зимняя снеговая коррозия должна быть выражена в самой сильной степени" [Говорухин, 1936, с. 160].

В более поздней работе В.С. Говорухин писал: "По-видимому, денудация имеет ограниченное местное значение. Еще никто не приводил доказательств прежнего богатого развития почвенного покрова и сплошного покрова растительности в области арктических пустынь и на месте арктических или горных тундр. Наоборот, все данные говорят о том, что на территории бывшего оледенения растительность появляется впервые и что почвенный покров развивается первично, и с начала голоцена его здесь никогда не было. Мы полагаем, что характерный микрорельеф арктических пятнистых тундр и особенно пустынь возник раньше, чем на нем появилась растительность. Последняя могла поселиться только в морозобойных трещинах и сохраниться в них под защитой более глубокого снега" [1960, с. 136].

Пятнистые арктические пустыни и арктические пятнистые тундры (очевидно, подзона арктических тундр) В.С. Говорухин [1960] назвал "аппликативными" пятнистыми тундрами, растительность которых появилась после образования пятен, путем наложения в защищенных трещинах-ложбинках.

Экспульсивная теория образования пятнистых тундр, выдвинутая В.Н. Сукачевым [1911], также имеет много последователей [Сумгин, 1937; Говорухин, 1936, 1960; Достовалов, Кудрявцев, 1967; и др.]. Суть ее заключается в том, что переувлажненный надмерзлотный слой почвы (пльвун) при промерзании расширяется, при этом развивается сильное давление в замкнутом пространстве (между вечной мерзлотой и намерзающей сверху коркой грунта), вызывающее разрыв этой корки в наиболее слабых местах и выливание пльвуна на поверхность. Пятно, таким образом, есть излившийся пльвун.

Эта теория, применимая для объяснения образования отдельных случайных пятен среди сплошного растительного покрова тундры, не может объяснить образования полигональных пятнистых тундр, что показал еще Б.Н. Городков [1939], отмечавший, что в тундрах Западно-Сибирской низменности ко времени замерзания даже близ морского побережья пльвуна над мерзлотой нет, поэтому, вопреки представлениям В.Н. Сукачева, М.И. Сумгина и других, никаких напряжений при замерзании

почвы не существует, а следовательно, и нечему изливаться на поверхность.

Дальнейшие исследования подтвердили, что полигональные пятнистые тундры распространены на достаточно дренированных участках, где нет пльвуна над мерзлотой в период промерзания почвы.

Никто из местных жителей не наблюдал свежих выливов грунта и грязевых вулканчиков среди тундры, отмечал Д.А. Драницын [1914]. Правда, В.С. Говорухин [1960] и Е.И. Цыпленкин [1937] наблюдали в окрестностях г. Салехарда пятна в понижениях на берегах озер, на разрезах которых заметен выход подпочвы на поверхность в виде жерла. Однако если В.С. Говорухин объясняет формирование таких пятен катастрофически быстрым выливанием пльвуна, то Е.И. Цыпленкин — медленным поднятием его в результате процессов замерзания и оттаивания. Исходя из положения, что вечная мерзлота залегает под пятном глубже, чем под растительностью, Е.И. Цыпленкин полагал, что гравитационная вода стекает под пятно, заполняя все промежутки. При замерзании объем грунта увеличивается и происходит сдвиг или выход подпочвы на поверхность.

В настоящее время теории В.Н. Сукачева отводится весьма скромная роль в объяснении формирования случайных пятен среди сплошного растительного покрова в лесотундре и в южной тундре на участках, где почва глубоко протаивает и надмерзлотные слои ее переходят при этом в пльвуноподобное состояние [Говорухин, 1960].

Много последователей имеет теория единого бугро-пятнообразовательного процесса, выдвинутая Ю.А. Ливеровским [1934]. В результате неоднородности растительного покрова и изменений микрорельефа происходит неравномерное накопление воды (льда), капиллярно приподнимающейся при промерзании к поверхности почвы. В результате возникает некоторое местное вспучивание поверхности тундры, оконтуривающееся затем депрессиями, являющееся ранней стадией процесса пятнобугрообразования. Над мерзлотой имеется пльвун, способствующий интенсивности процесса. При каждом осеннем замерзании возникают сильные токи капиллярно приподнимающейся воды, но, кроме того, бугор с пятном испытывает давление расширяющейся при замерзании воды сбоку и снизу, выпирается вверх, как поплавок. Деградация растительности и создание пятна в основном определяются теми напряжениями и перемещениями, которые создаются в почве, но в некоторых условиях рельефа золово-снеговая коррозия может ускорить этот процесс. Детали формирования пятен на месте бугров Ю.А. Ливеровский не рассматривал.

Теорию единого пятно-бугрообразования дополняли и развивали О.А. Польшцева, Е.Н. Иванова [1936], Е.Н. Иванова [1962], И.А. Тютюнов [1953] и другие. Иванова [1962] считает эту теорию универсальной. Н.А. Каравеева [1969] считает, что эта теория может быть применена для объяснения формирования пятнистых тундр в лесотундре и в приокеанических районах типичной тундры (крайний запад и восток СССР). Она сводится к следующим положениям.

Для пятно-бугрообразования необходимо неравномерное промерзание почв на различных участках тундры и наличие пересыщенных влагой

промерзающих горизонтов. О.А. Полинцева, Е.Н. Иванова [1936], а также И.А. Тютюнов [1953] отмечали, что растительный покров играет решающую роль в создании условий неравномерного промерзания. Е.Н. Иванова, О.А. Полинцева [1952] считали, что под пологом карликовой березы создаются особо благоприятные условия для роста мохово-кустарничкового покрова и накопления торфянистого 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 и под кустарниками формируются бугры. По мере увеличения высоты бугра количество снега на нем из года в год уменьшается из-за того, что он все больше сносится ветром. В результате сначала отмирает карликовая береза, затем мхи и кустарнички, торфяная подушка пересыхает и начинает разрушаться под действием ветра, воды и лишайников. Постепенно на месте бугра образуется пятно оголенной минеральной почвы, которое вновь зарастает и начинается новый цикл бугрообразования.

Эта довольно логичная теория не подтверждается наблюдениями в природе. Ее авторы не приводят никаких данных о промерзании почв под различными растительными группировками. С позиций этой теории можно объяснить образование бугров вне области вечной мерзлоты. В тех районах области вечной мерзлоты, где сезонно оттаивающий слой почвы ежегодно промерзает, под мощной торфяно-моховой подушкой бугра вечная мерзлота залегает всегда выше, чем между буграми, где она ниже и где больше снега, поэтому и почва под буграми промерзает раньше, чем в понижениях, а следовательно, плавучи и не может выпучить уже промерзший бугор [Тыртыков, 1969].

В целом эта теория является модификацией рассмотренной выше теории В.Н. Сухачева об образовании бугров и денудационной теории Б.Н. Городкова о процессе образования пятен на месте бугров.

Теория единого бугро-пятнообразовательного процесса не может быть принята для объяснения формирования полигональных пятнистых тундр, поскольку здесь не наблюдается смены бугра пятном, да и напряжений в грунтах при промерзании не создается, так как почва не переувлажнена. Миграция влаги в полигональных тундрах арктических пустынь не может играть решающей роли, так как промерзание их происходит довольно быстро, а при быстром замерзании влага не перемещается к фронту промерзания в большом количестве.

И.В. Игнатенко, Б.Н. Норин [1969, 1970], а целом принимая денудационную теорию формирования пятнистых тундр, решающую роль в первичном возникновении голых пятен отводят так называемому морозному кипению. Процесс морозного кипения, в понимании И.В. Игнатенко и Б.Н. Норина, заключается в том, что весной и осенью на поверхности обнаженной талой почвы пятен, в разрывах и трещинах растительной дернины, там, где мощность ее невелика, образуются вер-

тикально расположенные кристаллы льда (ледяные стебельки) длиной 4—8 см. Они приподнимают растительную дернину по окраинам пятна, отслаивая ее от минерального субстрата. Кристаллы льда образуются на некоторой глубине и приподнимают слой мелкоземной толщины 1—2 см. Верхний слой почвы пятен толщиной около 5 см почти совершенно не заселяется подземными органами цветковых, так как он постоянно деформируется морозным кипением, в результате чего корни цветковых рвутся, и они гибнут. Многочисленные всходы, появляющиеся на пятнах, погибают в первые же годы [Игнатенко, Норин, 1969].

В мохово-кустарничковых, лишайниково-моховых и более северных тундрах на наповышениях растительный покров маломощный, часто несомкнутый, поэтому он подвержен морозному кипению, разрушающему и без того слабою дернину и создающему пятно голого грунта. Центрами возникновения ледяных стебельков могут быть и трещины на вершинах бугорков, образующиеся в результате морозного выпирания и разрывов растительной дернины, трещины в напочвенном покрове (летние — от высыхания), нарушения дернины при проходе оленей. Однако эти предпосылки для возникновения пятен имеют значение там, где есть условия для проявления морозного кипения (маломощный напочвенный покров, отсутствие сплошного снежного покрова ранней весной и поздней осенью). Такие условия существуют на склонах, на вершинах всхолмлений, где от морозного кипения и возникают пятна голого грунта. Последующее образование ледяных стебельков поддерживает и увеличивает эти пятна. При этом вступает в действие ряд факторов, способствующих росту пятен (влияния жидкостей, солифлюкция, эрозия, термокаст и др.). Эти факторы действуют на микроучастки и до появления пятен, предшествуя и способствуя проявлению морозного кипения, но первичной причиной возникновения пятен является последнее" [Игнатенко, Норин, 1969, с. 74].

Морозное кипение наблюдал на пятнах Б.Н. Городков, однако он не придавал этому процессу существенного значения в формировании пятнистых тундр и полигональных арктических пустынь.

Образование ледяных кристаллов наблюдается на участках, где нет сомкнутого растительного покрова; там, где есть такой покров, морозное кипение не наблюдается. Следовательно, морозное кипение не может увеличить пятна, тем более образовать пятно, оно не может быть фактором денудации, а следовательно, и первичной причиной возникновения пятен.

Для проявления морозного кипения требуются особые условия, среди которых, помимо отмеченных И.В. Игнатенко и Б.Н. Нориним, следует особенно выделить влажность верхнего слоя обнаженной почвы. Морозное кипение проявляется только на участках, где этот слой сильно увлажнен. В этом, в частности, можно легко убедиться, многократно наблюдая осенью образование ледяных стебельков на обнаженной почве после ночных заморозков, которым предшествовал дождь.

Полигональные пятнистые тундры распространены на дренированных местах, где приповерхностные слои почвы в период весенних и осенних



Р и с. 1. Пятно без следов морозного кипения

заморожков нередко пересыхают и образования ледяных стебельков не наблюдается. Неудивительно поэтому, что на больших площадях пятнистых полигональных тундр на поверхности пятен нет следов морозного кипения (рис. 1).

Эта своеобразная денудационная теория также не в состоянии объяснить факты зарастания пятен.

В процессе исследования пятнистых тундр неоднократно наблюдалось развитие всходов цветковых растений на пятнах, верхний слой которых пористый, т.е. там, где возникали ледяные кристаллы (стебельки), а также деревьев, кустарников. На такие пятна наступают мхи, лишайники и цветковые растения с заросших окраин. Корни цветковых на голых пятнах больше страдают от возникающих при промерзании многочисленных трещин на поверхности, рвущих корни, чем от морозного кипения.

Морозное кипение не может служить существенным фактором денудации и тем более первичной причиной возникновения пятен.

Общей особенностью большинства теорий пятнообразования является представление о том, что пятна возникают в результате локального уничтожения растительного покрова различными агентами: ветровой коррозией, истечением грунта, в результате солифлюкции, напряжений при замерзании пльвуна, эрозией, морозным кипением. Это положение было отмечено еще В.С. Говорухиным [1936]: "В основном все существующие теории происхождения пятнистой тундры исходят из растительного покрова, в результате разрыва которого и образуются пятна" (с. 160).

В противоположность этим гипотезам В.С. Говорухин [1960] писал: "По-видимому, правильная сеть трещин с гексагональными ячейками,

возникающими под действием арктических морозов исторически задолго до появления растительности, является основным и первоначальным фактором в образовании микрорельефа типичных пятнистых тундр. Мы имеем основание считать, что при отступании ледников в конце плейстоцена в перигляциальной области были обильно представлены различные полигональные поверхностные образования, в том числе и пятнистые. Они имели облик выпуклых полигональных площадок, разделенных морозобойными трещинами, расположенных геометрически правильно. По-видимому, они были заселены только низшими организмами — водорослями и бактериями" [1960, с. 125].

Впоследствии ложбинки зарастают мхами, лишайниками, цветковыми, образующими правильные сети, в ячейках которых расположены голые пятна, также постепенно зарастающие.

Следовательно, по В.С. Говорухину, пятнистая полигональная тундра представляет собой лишь определенную стадию развития растительного покрова на совершенно голом субстрате, разбитом трещинами на полигональные отдельности.

Что касается происхождения пятнистых тундр вообще, то большинство исследователей [Городков, 1956; Говорухин, 1960; Ревердатто, 1931; Караваева, 1969; и др.] признают, что причины образования пятен различны в различных условиях.

Пятнистые полигональные тундры на севере Западной Сибири наиболее широко распространены в северной половине полуостровов Гыдан и Ямал. Они занимают наиболее повышенные и дренированные участки (вершины и верхние пологие части холмов, террас и т.п.), где зимой мало снега. На крутых склонах их нет. В подзоне кустарниковых тундр и в лесотундре пятнистые тундры встречаются в подобных же условиях рельефа, но площадь их очень невелика.

Характерно, что на отмеченных элементах рельефа распространены полигональные пятнистые тундры как с совершенно голыми пятнами, так и с зарастающими и полностью заросшими. На участках, где нет видимых следов пятен, при раскопках обнаруживается типичный полигональный микрорельеф, характерный для пятнистых тундр, но полностью погребенный растительностью (преимущественно торфянистым слоем и мохово-лишайниковым покровом). Чем сильнее развит растительный покров, тем меньше пятен незаросших и зарастающих, тем больше заросших пятен. На участках со слабо развитым растительным покровом преобладают незаросшие пятна и нет или почти нет заросших.

Эти факты свидетельствуют, что развитие полигональных пятнистых тундр взаимосвязано с развитием растительного покрова и что пятна таких тундр зарастают.

Сравнивая участки полигональных пятнистых тундр, различающиеся по степени развития растительности на пятнах и между ними, удалось выделить главнейшие этапы развития пятнистых тундр в связи с динамикой растительного покрова и соответствующие данным этапам стадии развития растительности. Этапы развития пятнистых полигональных тундр и соответствующие им стадии развития растительного покрова различны в разных подзонах Арктики.

ПОДЗОНА АРКТИЧЕСКИХ ТУНДР

В подзоне арктических тундр динамика растительного покрова и полигональных пятнистых тундр изучалась в окрестностях порта Диксон. В развитии полигонального микрорельефа выделяется три этапа.

1. **Формирование полигональной сети трещин-ложбинок.** Полигональная сеть трещин наблюдается на участках обнаженного грунта. Такие участки обнаженного грунта образуются в процессе оползней, оплывин, эрозии и т.п. Обнаженный грунт в сухой период лета высыхает, и на поверхности появляется сеть трещин, разбивающая его на прямоугольные, пятиугольные, шестиугольные отдельные шириной 0,3—2,0 м (рис. 2). При этом чем сильнее дренаж, тем мельче сеть трещин. На крутых участках склонов ячеи нередко достигают ширины около 20 см, в то время как на пологих участках и плоских вершинах — до 200 см. Ширина трещин не превышает обычно 10 см, глубина — не более 20—30 см. Трещины никогда не достигают величин, равных максимальной глубине протаивания обнаженных грунтов, обычно их глубина в 2 и более раза меньше максимальной глубины протаивания.

Края трещин осыпаются, трещины размываются дождями и снеговыми водами, превращаясь постепенно в канавки-ложбинки. После оттаивания грунты легко размываются, поэтому уже через несколько лет на обнаженных участках образуется характерный полигональный микрорельеф — плоские бугорки, разделенные ложбинками. На крутых склонах размыв продольных трещин протекает так интенсивно, что образуются глубокие борозды, разделенные гребнями, и склон напоминает распаханное поле, где промежутки между гребнями не превышают 0,6 м (рис. 3). Чем положе склон, тем равномернее подвергаются эрозии поперечные и продольные трещины, тем правильнее проявляется полигональная сеть. На горизонтальных, но достаточно дренированных участках полигональная сеть трещин-ложбинок характеризуется наибольшей равномерностью развития и плоскими, ровными участками центральных повышенных частей.

Состав грунта таких полигональных отдельных и ложбинок между ними совершенно одинаков — серый с голубоватым оттенком пылеватый суглинок, на поверхности которого нередко в сухое время выступают кристаллы солей. Так образуются повышенные площадки, окаймленные понижениями-ложбинками.

2. **Развитие рамковой сети растительности и формирование полигональных пятнистых тундр.** Полигональные повышенные площадки и ложбинки между ними представляют собой различные места обитания растений. Различия эти тем резче, чем глубже ложбинки и чем более открыты участки для господствующих ветров. Площадки летом быстро высыхают, покрываются сетью мелких трещин, зимой они растрескиваются также от морозов и ветра, в то время как в понижениях-ложбинках задерживается снег и летом они лучше увлажнены.

Зачатки растений (семена, споры, луковички и т.п.) задерживаются в ложбинках, где создаются лучшие условия для их прорастания и развития, в то время как с повышенных площадок они сносятся ветром, водой. Проростки на таких повышениях гибнут от высыхания и, очевидно, от морозного растрескивания грунтов.

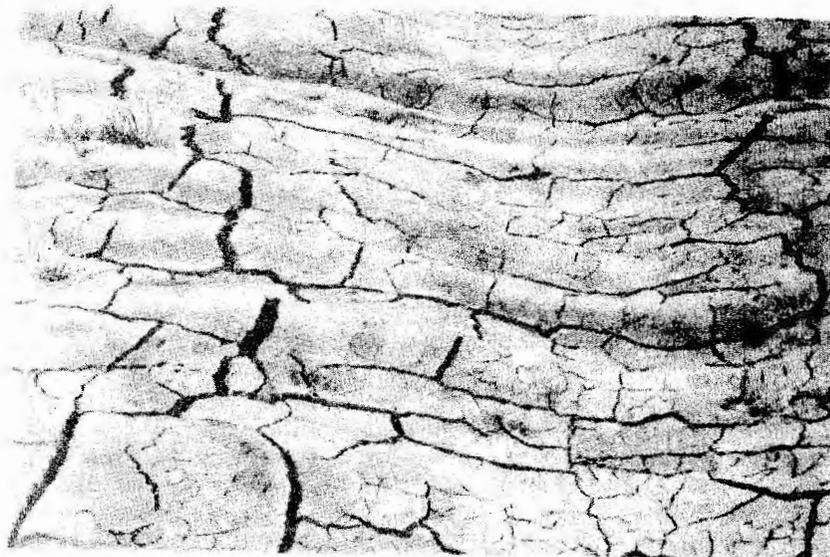


Рис. 2. Трещины в подсыхающей обнаженной поверхностно-глеевой тундровой почве



Рис. 3. Гребни и заросшие борозды на крутом склоне холма

Знаменательно, что на голых площадках, окаймленных ложбинками, в которых нет растений, не обнаруживаются следов "морозного кипения" и нет корочки водорослей и лишайников.

Вероятно, вначале в ложбинках поселяются водоросли. Поселение водорослей имеет важное значение для развития цветковых растений, так как почва таких обнаженных участков крайне бедна питательными веществами, особенно азотом. Среди водорослей, развивающихся на обнаженном субстрате в тундрах, есть азотфиксаторы [Городков, 1956; Кошелева, Новичкова, 1958].

Из сосудистых растений в ложбинках вначале поселяются кустарнички и травы: дриада (*Dryas punctata*¹, 10–20%); ива (*Salix polaris*, до 10%), лисохвост (*Alopecurus alpinus*), овсяница (*Festuca bevilfolia*), мятлики (*Poa alpigena*, *P. arctica*), крупки (*Draba oblongata*, *D. wahlenbergii*), камнеломки (*Saxifraga caespitosa*, *S. cernua*, *S. flagellaris*, *S. hieracifolia*), а также *Eutrema edwardsii*, *Juncus biglumis*, *Luzula confusa*, *L. nivalis*, *Melandrium apetalum*, *Papaver radicum*, *Parrya nudicaulis*, *Polygonum viviparum*, *Potentilla emarginata*, *Ranunculus sulphureus*, *Sieversia glacialis*. Мхов очень мало (покрытие не более 20%), встречаются: *Campthothecium trichoides*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Thuidium abietinum*; лишайники также редки: *Cetraria nivalis*, *C. cucullata*, *C. islandica*, *Thamnolia vermicularis*.

Так в ложбинках формируется травяно-дриадовая тундра.

Для начальной стадии заселения ложбинок характерно обилие дриады. Дриада очень характерна для арктических тундр Сибири и обычно первая поселяется на обнаженных дренированных участках. Дриада также является пионером при заселении территорий, освободившихся от ледника на Аляске [Crocker, Major, 1968; Tisdal et al., 1966], что объясняется развитием в клубеньках на ее корнях микроорганизмов, фиксирующих азот. Вероятно, поселение дриады благоприятствует развитию других растений благодаря улучшению обеспечения их азотом.

Для развития растений в ложбинках на первых этапах их заселения большое значение, помимо водорослей, имеет деятельность различных организмов: червей, насекомых и других, которые поселяются там по мере развития растительности, удобряя почву и разрушая растительные остатки. Растительность в ложбинках привлекает насекомых, червей, леммингов, удобряющих почву.

Постепенно ложбинки сплошь зарастают, в то время как на повышениях бугорках растительности еще нет. Так формируются полигональные пятнистые тундры, характеризующиеся правильной (рамковой) сетью растительности. Дриадово-травяные сообщества оконтуривают голые полигональные площадки. Отдельные части растений (соцветия камнеломок, крупок, злаков и т.п.) возвышаются над ними, но основная растительная масса расположена в канавках.

Эта стадия дриадово-травянистых пятнистых полигональных тундр характеризуется совершенно голыми пятнами, поверхностный слой кото-

рых размывается дождями и снеговыми водами. Грунт по ложбинкам выносится с повышенных участков вниз по склонам. Следов поселения накипных лишайников или блестящей корочки водорослей и проявлений морозного кипения нет.

На стадии дриадово-травянистых пятнистых тундр не наблюдается заметных различий в почвенном покрове между пятнами и ложбинками; в последних образование почвы только начинается. Грунт протаивает на 50–60 см, поверхность вечной мерзлоты залегает на одном уровне под пятнами и ложбинками.

Постепенно в ложбинках формируется сплошной растительный покров, состоящий не только из кустарничков и трав, но и из мхов и лишайников. Мхи, развиваясь в ложбинках, угнетают и вытесняют травы и кустарнички, в то время как травы и кустарнички расселяются на верхних частях ложбинок и примыкающих к ним участках повышенных пятен.

Дриадово-ивняково-травяно-моховые тундры сменяют таким путем дриадово-травяные. Дриада преобладает на верхних частях склонов ложбинок и краевых частях полигональных площадок, где покрывает до 30–40% поверхности, здесь же обильна ива (*Salix polaris*, 10–20%), а также осока (*Carex hyperborea*, до 10%), лисохвост (*Alopecurus alpinus*), часто встречаются камнеломки, крупки (виды те же, что и в дриадово-травянистых тундрах, с. 18), кроме того, *Arctagrostis latifolia*, *Lagotis stelleri*, *Luzula confusa*, *L. nivalis*, *Parrya nudicaulis*, *Papaver radicum*, *Pedicularis hirsuta*, *P. oederi*, *P. sudetica*, *Senecio trifidus*.

В лишайниково-моховом покрове, почти сплошном в ложбинках (покрытие 80–90%), доминируют *Campthothecium trichoides* (20–40%), *Hylocomium splendens* (10–30%), *Aulacomnium turgidum* (10–20%), *Rhacomitrium lanuginosum* (10–20%), обильны: *Thuidium abietinum* (10%), *Ptilidium ciliare* (10%), *Thamnolia vermicularis* (до 10%), *Cladonia gracilis* (10%), *Cl. elongata*, *Cetraria nivalis* (10%), *C. cucullata*, *Dactylina arctica*.

Под моховым покровом формируется торфянистый слой.

Развитие сети растительности в ложбинках изменяет физические процессы в полигональных тундрах по сравнению с таковыми на обнаженных грунтах.

Вначале, когда растительный покров в ложбинках развит слабо, активно проявляется эрозия. На повышенных площадках и в ложбинках наблюдается размыв и смыл грунта, ложбинки расширяются и углубляются. Развитие растительности в ложбинках замедляет эрозию. Особенно заметно изменяются физические процессы после образования в ложбинках сплошного покрова из мхов и лишайников. В это время цветковые, а также мхи и лишайники расселяются на края полигонов, образуя бордюры. Этот бордюры растительности, хотя и невысокий (5–10 см), затрудняет смыл грунта с поверхности пятен и способствует дифференциации частиц мелкозем на бугорках. По мере развития бордюра растительности и соответственно замедления стока воды со взмученными в ней частицами с поверхности голых пятен наиболее крупные частицы грунта, выносимые дождевыми и снеговыми водами, оседают в бордюрах, мелкие же сносятся в ложбинки и далее вниз по склонам. Продолжающийся смыл грунта с оголенных пятен и все увеличивающаяся задержка взмученных

¹ Латинские названия цветковых растений даны по П.Н. Крылову [1929–1951], мхов — по А.Л. Абрамовой и др. [1961], лишайников — по А.В. Домбровской [1967], печеночников — по Л.И. Савич и К.М. Лядыженской [1936].

частиц бордюром (отложение их в бордюре) приводят к тому, что поверхность пятен становится плоской.

С накоплением растительной массы (опада) в бордюрах и развитием сплошного мохово-лишайникового покрова на этих участках создается все больше препятствий стоку воды с поверхности пятен. По мере того, как происходит накопление растительных остатков и живой растительной массы в бордюрах, вода все более продолжительное время задерживается на поверхности пятен.

Осенью и весной в период заморозков верхние слои грунта пятен сильно увлажняются, что создает благоприятные условия для образования кристаллов льда ("ледяных стебельков") в верхнем (3—5 см) приповерхностном слое пятен, где благодаря многократному образованию таких кристаллов создается специфическая пористая структура грунта (рис. 4).

Развитие сплошного мохового покрова в ложбинках и накопление торфянистого слоя создает все большие различия в протаивании почв. Эти различия обусловлены не только слабой теплопроводностью мха и торфа, замедляющих протаивание, но и большей влажностью почвы в ложбинках. С накоплением торфянистого слоя, заполняющего ложбинки, увеличивается льдистость этого слоя, так как торфяно-моховой слой задерживает сток воды из ложбинок. При промерзании осенью в ложбинках образуются линзы сцементированного льдом торфа (болванки льда, см. Драницын [1914]) (рис. 5), очень медленно оттаивающие летом под защитой сплошного мохового покрова. В процессе промерзания торфянистый слой нередко отслаивается от минерального субстрата, в результате корни трав, кустарничков, проникшие в минеральный грунт, рвутся по границе разрыва, рост их, таким образом, угнетается.

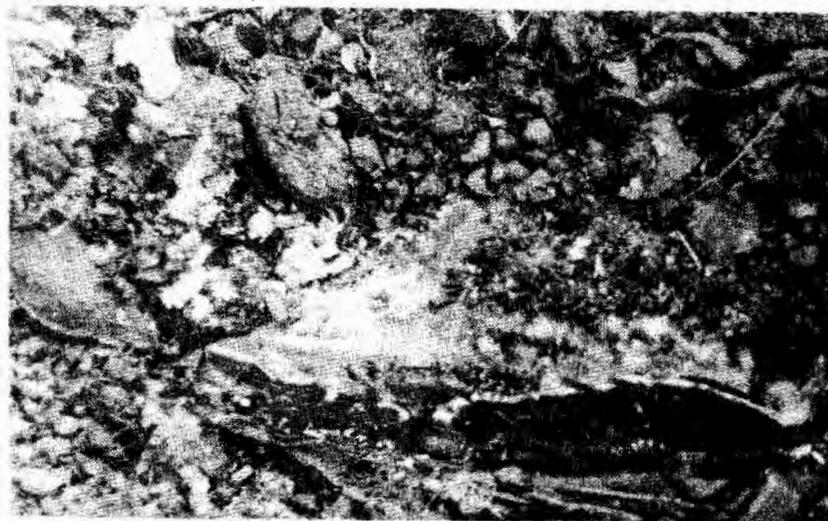
В подобных полигональных пятнистых тундрах создаются резкие различия в протаивании грунтов между пятнами и ложбинками. В ложбинках, где глубина протаивания в 2—5 раз меньше, чем на пятнах, нередко осенью перед началом промерзания мерзлый грунт залегает на глубине 15—25 см, в то время как в центрах полигонов — на глубине 50—60 см. Мы нигде не наблюдали морозобойные трещины на торфянисто-моховом покрове ложбинок, разделяющих пятна, что свидетельствует о формировании полигональных отдельных пятнистых тундр в процессе разработки трещин, возникающих при высыхании грунта.

Летом, особенно в первую половину, когда грунт на пятнах протаял уже глубоко (несколько десятков сантиметров), а в замшелых ложбинках льдистый торф расположен непосредственно под тонким слоем мха, на глубине 5—10 см, создается уклон верхней поверхности мерзлоты от ложбинок к центрам пятен. Влага и гумус от ложбинок поступают таким путем к центрам пятен. В сухой период лета с оголенной поверхности пятен влага испаряется, что вызывает капиллярное поднятие почвенных растворов к поверхности пятен по мере высыхания. В результате приповерхностные слои пятен обогащаются солями, выступающими в виде налета на поверхности.

Вероятно, накопление некоторых солей в верхних слоях грунта пятен и на поверхности затрудняет заселение растениями центральных частей



Р и с. 4. Пористая почва на поверхности пятна



Р и с. 5. Льдистый торф в ложбинке между пятнами

пятен-полигонов. Это подтверждают исследования в тундрах Гыдана [Кошелева, Новичкова, 1958], в процессе которых установлено, что нередко пятна покрыты, как инеем, кристаллами солей сернистокислого натрия и сернистокислого кальция (гипса), верхние слои также сильно насыщены этими солями, губительно действующими на высшие растения. На таких пятнах даже флора водорослей очень бедна.

Высыхание приповерхностных слоев грунта пятен летом вызывает их растрескивание и улучшение аэрации почвы. В осенне-зимний период пятна также начинают промерзать раньше, чем ложбинки под моховым покровом, что вызывает подтягивание влаги к фронту промерзания и образование прослоек льда в верхних слоях грунта под пятнами и некоторое осушение средних частей [Городков, 1939]. Иногда пятна покрываются коркой льда [Тихомиров, 1957; Попов, 1967].

Одновременно с развитием растительности формируется и почва. В ложбинках накапливаются растительные остатки, формируется торфянистый слой, в процессе разложения растительных остатков образуется гумус, потоки которого проникают также и под пятна, где он накапливается в надмерзлотных слоях, поднимается с восходящим током воды при капиллярном поднятии почвенного раствора, насыщая таким путем почву под пятнами. Характерной особенностью гумуса является легкая подвижность, что обусловлено его фульвокислотным составом [Каравая, 1969]. Корни проникают и под пятна, разлагаясь, дают перегной.

В сильноувлажненных надмерзлотных слоях почвы развивается процесс оглеения. Таким путем под ложбинками образуется торфянисто-перегнойно-глеевая почва, а под пятнами — перегнойно-глеевая. Формирующиеся впервые на обнаженных участках почвы пятна правильно были названы Ю.А. Ливеровским [1934] неразвитыми, примитивными.

Таким образом, в течение этого этапа развития полигональных пятнистых тундр создаются резкие различия местообитаний между пятнами и ложбинками, а именно максимальные различия в протаивании и промерзании, в температурном режиме, в увлажнении, пересыхании приповерхностных слоев почвы, в почве, в растительном покрове и т.п. Этот этап характеризуется формированием пятнистых полигональных тундр, когда создаются специфическая структура растительного и почвенного покрова, а также микрокомплексность этих покровов. Этап завершается формированием "зрелых" полигональных пятнистых тундр, характеризующихся наибольшей контрастностью условий обитания между различными частями комплекса: пятнами, бордюрами и ложбинками.

Таким образом, правильная сеть трещин, разбивающая оголенные грунты в процессе их высыхания на полигональные отдельные, служит основой формирования специфического микрорельефа и микрокомплексности структуры растительного и почвенного покровов полигональных пятнистых тундр.

О причинах растрескивания грунтов на полигональные отдельные существуют две наиболее распространенные точки зрения. Одна из них, высказанная еще Чильманом [Kjelman, 1883], объясняет образование трещин влиянием морозов. Эту точку зрения поддерживали многие исследователи [Городков, 1926, 1950; Говорухин, 1960; и др.]. О трещинах усыхания, образующих полигоны на глинистых грунтах, писал еще К. Бэр [Baer, 1838]. Развитие пятнистых полигонов на вязкой глине морского побережья Большеземельской тундры объяснял сжатием почвы в сухое время года А. Шренк [1855]. Пятнистые тундры на открытых ветрам участках объяснял растрескиванием почвы в процессе ее высыхания Г.И. Танфильев [1911].

Против морозобойного способа образования трещин, служащих основой рамковой сети растительности в полигональных пятнистых тундрах, свидетельствуют следующие факты.

1. При раскопках пятнистых тундр нигде не обнаружены трещины, превышающие глубину сезонного протаивания грунтов; обычно их глубина в 2–3 раза меньше глубины сезонного протаивания обнаженного грунта.

2. Морозобойные трещины в полигональных болотах проникают на глубину до 5 м, т.е. в несколько раз большую, чем глубина сезонного протаивания грунтов, несмотря на то, что болота располагаются в понижениях, где больше снега, чем на обдуваемых ветрами участках пятнистых тундр.

3. Морозобойные трещины обычно ежегодно возобновляются в зимний период, при этом растительный покров, смерзшийся в плотную массу, разрывается. След разрыва сохраняется после оттаивания и напоминает разрез растительного покрова острым орудием. Следы таких разрывов нигде не обнаружены нами в полигональных пятнистых тундрах севера Западной Сибири, Восточной Сибири и северо-востока Якутии. Нет никаких свидетельств о наличии их в других районах. Между тем на полигональных болотах такие трещины встречаются повсюду.

4. Морозобойные трещины, особенно ежегодно возобновляющиеся, создают условия для образования клиновидных жил льда. В трещинах-ложбинках между пятнами обнаруживаются не клинья, а болванки льда, свидетельствующие о том, что они образовались при замерзании напитанного водой торфянистого слоя. О таких болванках льда сообщали Д.А. Драницын [1914], Б.Н. Городков [1950].

5. На обнаженных грунтах севера Западной Сибири, Таймыра, северо-востока Якутии мы повсюду наблюдали трещины, возникшие при высыхании их. Они широко распространены даже в высокоширотных районах Арктики, где влажность грунтов и воздуха значительно выше, чем в континентальных тундрах Сибири и Якутии. О широком развитии их на Земле Франца-Иосифа свидетельствуют материалы В.Л. Суходровского [1962].

3. Зарастание пятен полигонов. Развитие растительности на бордюрах, а также накопление опада благоприятствуют накоплению снега на поверхности пятен, ослаблению промерзания, уменьшению испарения с поверхности почвы, более равномерному ее увлажнению. Очевидно, одновременно с этим ослабляется и уменьшается растрескивание поверхности пятен при замерзании и высыхании. Накопление солей замедляется или прекращается в поверхностных слоях грунта. В прибордюрных и центральных частях пятен накапливается опад. Все это создает благоприятные условия для развития растений (прорастания семян, спор, укоренения вегетативных частей, продвигающихся от бордюров, и т.п.). Вначале поверхность пятен покрывается водорослями. Они образуют глянцевику слабоводопроницаемую корочку, которая помогает им дольше пользоваться задерживающейся на пятнах влагой [Кошелева, Новичкова, 1958]. В сухие периоды лета, когда поверхность пятен покрывается

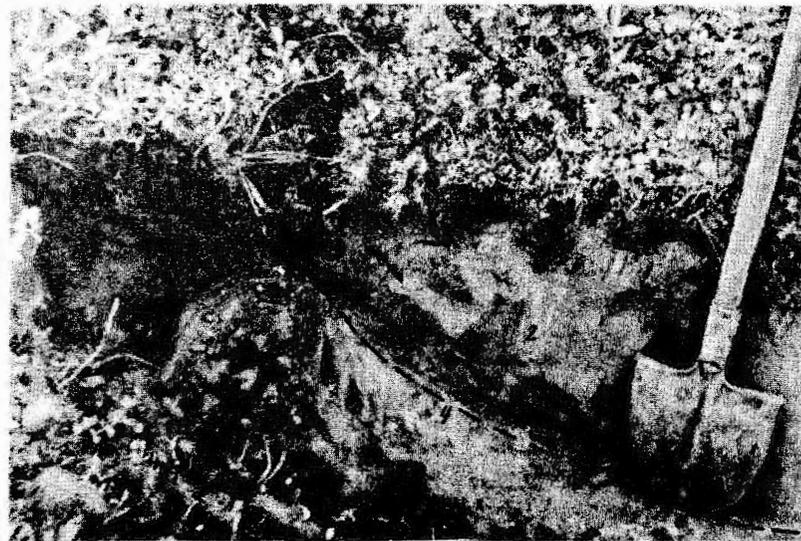
трещинами, корочка местами отслаивается, сдувается и частично уносится ветром.

В зависимости от реакции субстрата на пятнах поселяются различные группы водорослей: в условиях слабокислой среды — в основном желтозеленые (Xanthophyta) и одноклеточные колониальные зеленые (Chlorophyta), на слабощелочных почвах преобладают синезеленые (Cyanophyta). Почти одновременно с водорослями поселяются и накипные лишайники. Среди синезеленых есть хорошие азотофиксаторы, в связи с чем почвы пятнистых тундр обогащаются азотом. Отмершие водоросли и лишайники дают большое количество органического вещества. В голом пятне с пленкой водорослей содержится 1,1% гумуса, а на зарастающих накипными лишайниками — до 6%, содержание азота — 0,35%. Жизнедеятельность водорослей и накипных лишайников создает более благоприятные условия для развития мхов и цветковых растений [Кошелева, Новичкова, 1958].

Чаще всего пятна зарастают в основном в результате вегетативного разрастания растений, развитых на бордюрах, на пятна надвигаются побеги *Dryas punctata*, *Minuartia macrocarpa*, столоны *Saxifraga flagellaris*, стелящиеся побеги ив (*Salix polaris*), корневища *Carex hyperborea*, *Alopecurus alpinus*, отдельные мхи и лишайники.

Дриадово-ивняково-травяно-лишайниково-моховые тундры сменяют таким путем дриадово-ивняково-травяно-моховые пятнистые полигональные тундры. Они характеризуются заросшими пятнами, на которых преобладают дриада (*Dryas punctata*, 10–20%), ива (*Salix polaris*, 10–20%), осока (*Carex hyperborea*, до 10%), обильны *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Deschampsia brevifolia*, *Festuca brevifolia*, *Eriophorum scheuchzeri*, *Alsine macrocarpa*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Draba wahlenbergii*, *Juncus biglumis*, *Lagotis stelleri*, *Luzula nivalis*, *L. confusa*, *Melandryum apetalum*, *Minuartia macrocarpa*, *Parrya nudicaulis*, *Papaver radicum*, *Pedicularis oederi*, *P. sudetica*, *Ranunculus hyperboreus*, *R. sulphureus*, *Saxifraga cernua*, *S. flagellaris*, *S. hiaseus*, *S. hiercifolia*. В почвенном покрове обильны лишайники: *Thamnia vermicularis*, *Cladonia gracilis*, *Cetraria cucullata*, *C. nivalis*, *Dactylina arctica*, *Stereocaulon paschale*, а также мхи *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum alpestre*, *Rhacomitrium lanuginosum*, *Thuidium abietinum*. В ложбинках, сплошь заполненных мхами и торфянистым слоем, преобладают мхи: *Camptothecium trichoides* (20–30%), *Hylocomium splendens* (20–30%), *Aulacomnium turgidum* (10–20%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. congestum* (10%), *D. spadicum* (10%), *Kiaeria glacialis* (10–20%), обильны *Polytrichum alpinum*, *P. fragile*, *Rhacomitrium lanuginosum*, *Alectoria ochroleuca*, *A. nigricans*, *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *C. nivalis*, *Dactylina arctica*, *Cladonia gracilis*.

По мере развития растительности на пятнах затухают различные физические процессы — эрозия, растрескивание почвы, образование вертикальных кристаллов льда и т.п. Перегной окрашивает почву под пятнами. Вследствие ослабления растрескивания ухудшается аэрация почвы и усиливается оглеение — глеевый горизонт подступает ближе к поверхности. Так образуется перегнойно-глеевая почва под пятнами, протаивающая



и с. 6. Разрез почвы под заросшим пятном и ложбинкой:

1 — торфяной слой; 2 — суглинок талый; 3 — льдистый медленно протаивающий грунт под ложбинкой; 4 — граница между мерзлым и талым грунтом

а 40–50 см, в ложбинках — торфянисто-перегнойно-глеевая, которая протаивает на 15–25 см (рис. 6).

Постепенно на пятнах развивается сплошной мохово-лишайниковый покров, в то же время травы и кустарнички угнетаются, изреживаются, некоторые выпадают. Поверхность тундры выравнивается в результате полного заполнения ложбинок торфянисто-моховым слоем. Пятнистость, заметная по обилию лишайников на заросших пятнах-полигонах, постепенно также становится все слабее выраженной.

Травяно-ивняково-дриадово-лишайниково-моховые тундры сменяют таким путем дриадово-ивняково-травяно-лишайниково-моховые. На заросших пятнах преобладает дриада (10–20%), встречаются *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Carex hyperborea*, *Draba wahlenbergii*, *Lagotis stelleri*, *Luzula nivalis*, *Papaver radicum*, *Pedicularis amoena*, *P. laeta*, *Salix arctica*, *Saxifraga cernua*, *S. hieracifolia*, *Sieviersia glacialis*. В почвенном покрове преобладают лишайники *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. nivalis* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), обильны: *Alectoria chroleuca*, *A. nigricans*, *Cladonia elongata*, *Cl. gracilis*, *Dactylina arctica*, *Stereocaulon paschale*, *Thamnia vermicularis*, *Aulacomnium turgidum*, *Camptothecium trichoides*, *Dicranum elongatum*, *Kiaeria glacialis*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Polytrichum alpinum*, *P. alpestre*, *P. juniperinum*, *Ptilidium ciliare*, *Rhacomitrium lanuginosum*.

В заполненных мхами ложбинках преобладают мхи: *Camptothecium trichoides* (20–40%), *Hylocomium splendens* (10–30%), *Dicranum congestum* (10–20%), *D. elongatum* (10–20%), *D. spadicum* (10–20%),

Kiaeria glacialis (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Polytrichum sticticum* (10–20%), *Rhacomitrium lanuginosum* (10–20%), обильны *Polytrichum alpinum*, *P. juniperinum*, *Thamnia vermicularis*, *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *Cladonia elongata*, *Cl. gracilis*, *Peltigera aphthosa*. На сплошном напочвенном покрове изредка встречаются *Salix polaris*, *Carex hyperborea*, *Saxifraga cernua*, *Pedicularis oederi*, *P. sudetica*.

По мере развития сплошного мохово-лишайникового покрова заросших пятнах формируется торфянистый слой, глубина протаивания почвы уменьшается, растрескивание почвы ослабевает, в результате ухудшается аэрация. Повышение верхней поверхности вечной мерзлоты в связи с переходом нижних слоев почвы в вечномерзлое состояние вызывает поверхностное заболачивание почвы, усиление оглеения ее верхних слоев, и перегнойно-глеевая почва под пятнами трансформируется в торфянисто-перегнойно-глеевую, протаивающую на 30–40 см. В заросших ложбинках торфянисто-перегнойно-глеевая почва протаивает на 15–20 см.

В процессе дальнейшего развития растительности поверхность тундры выравнивается настолько, что ложбинки совсем не заметны, лишь высокие (до 10 см) подушки и кочки, образованные дикрановыми и политриховыми мхами, выделяются на общем ровном фоне. Пятна еще различаются по обилию лишайников и большому количеству цветковых растений.

Лишайниково-моховые тундры сменяют таким путем травяно-ивняково-дриадово-лишайниково-моховые. В сплошном напочвенном покрове как на заросших пятнах, так и между ними преобладают *Camptothecium trichoides* (30–50%), *Kiaeria glacialis* (10–20%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. congestum* (10–20%), *D. spadiceum* (10–20%), *Aucomnium turgidum* (10–30%), *Polytrichum alpinum* (10–20%), *P. alpestre* (10–20%), *P. juniperinum* (10–20%), *Rhacomitrium lanuginosum* (10–20%), *Hylocomium splendens* (10–30%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), среди лишайников: *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. nivalis* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *Alectoria ochroleuca* (10–20%), *A. nigricans* (10–20%), *Cladonia elongata* (10–20%), *Cl. gracilis* (10–20%), *Stereocaulon paschense* (10–20%), *Dactylina arctica* (10–20%).

По распределению цветковых пятна почти не отличаются от ложбинок. Цветковые занимают не более 20% поверхности тундры, среди них обычны *Alopecurus alpinus*, *Carex hyperborea*, *Dryas punctata*, *Salix polaris*, *Pedicularis oederi*, *P. lanata*, *Lagotis stelleri*.

Развитие сплошного лишайниково-мохового покрова и образование торфянистого слоя на пятнах сопровождается уменьшением глубины протаивания, т.е. повышением уровня верхней поверхности вечной мерзлоты, и увеличением влажности минеральных горизонтов почвы. Влажность полностью вытесняет воздух из минеральных слоев почвы, где так путем создаются анаэробные условия развития почвенных организмов, что вызывает оглеение этих слоев. Оглеение постепенно захватывает минеральную часть почвенного слоя под заросшими пятнами. Так формируются торфянисто-глеевые почвы на месте пятнистых полигональных тундр как под заросшими пятнами, так и под ложбинками. Глубина протаивания таких почв – 20–40 см.

Таблица 1
Динамика растительного покрова на обнаженных суглинках, разбитых трещинами на полигональные отдельные в южной части подзоны арктических тундр*

Стадия развития	Толщина, см		Глубина протаивания, см	Этапы развития полигональных пятнистых тундр
	напочвенного покрова	торфянистого покрова		
Дриадово-травяные полигональные пятнистые тундры	Нет	Нет	50–60	Формирование рамковой сети растительности
Дриадово-ивняково-травяно-моховые полигональные пятнистые тундры	Нет*	Нет	50–60	Зарастание пятнистых полигонов
	3–7	5–10	15–25	
Дриадово-ивняково-травяно-лишайниково-моховые тундры	3–5	0–5	40–50	Зарастание пятнистых полигонов
	3–7	10–15	15–25	
Травяно-ивняково-дриадово-лишайниково-моховые тундры	3–7	5–10	30–40	Зарастание пятнистых полигонов
	3–7	10–20	15–20	
Лишайниково-моховые тундры	3–7	10–15	20–40	Зарастание пятнистых полигонов
	3–7	10–20	15–20	

* В этой и других таблицах в числителе указаны значения для пятен, в знаменателе – для ложбинок.

Таким образом, более или менее однородному растительному покрову соответствует однообразный почвенный покров.

В течение этого этапа постепенно сглаживаются различия в промерзании, протаивании между зарастающими пятнами и ложбинками и, очевидно, в режиме их увлажнения, температуре; замедляются, а затем прекращаются эрозия, просадка грунта, образование кристаллов льда (ледяных стебельков) на пятнах, создаются более или менее однообразные условия развития растительности и почв на месте бывших полигональных пятнистых тундр, где эти условия наиболее контрастны (табл. 1).

Следовательно, существует глубокая зависимость между динамикой растительного покрова и развитием полигональных пятнистых тундр. Динамика растительного покрова – ведущий фактор формирования и развития полигональных пятнистых тундр. Этапы развития пятнистых тундр соответствуют определенным стадиям развития растительного покрова.

Первый этап – формирование пятнистых полигональных тундр (рамковой, полигональной сети растительности) – включает две первые стадии развития растительности в ложбинках: травяно-дриадовые тундры и сменяющие их дриадово-ивняково-травяно-моховые тундры. В течение этого этапа развитие растительности (и только оно) в ложбинках создает усло-

вия для формирования пятнистых полигональных тундр. В течение этого этапа создается специфическая структура растительного покрова, обуславливающая соответствующую структуру почвенного покрова. Именно развитие рамковой структуры растительного покрова и обуславливают все усиливающиеся различия в протаивании, промерзании, температурном режиме, влажности, льдистости, трещинообразовании между центральными обнаженными участками полигонов-пятен и зарастающим понижениями-ложбинками между ними.

Этот этап завершается формированием "зрелых" пятнистых полигональных тундр, характеризуется наибольшей контрастностью условий среды между различными частями комплекса — пятнами и межпятенными ложбинами.

Второй этап — зарастание пятен — соответствует трем последовательно сменяющимся стадиям развития растительного покрова, а именно дриадово-ивнячково-травяно-лишайниково-моховым тундрам, трансформирующимся затем в травяно-ивнячково-дриадово-лишайниково-моховые, которые сменяются в свою очередь лишайниково-моховыми. В течение этого этапа развитие растительности на пятнах вызывает затухание, а затем прекращение ряда процессов: образования вертикальных кристаллов льда ("морозное кипение"), эрозии, ослабление промерзания протаивания, трещинообразования, сглаживание различий в почвенном покрове, протаивании, промерзании грунтов, температурном режиме, увлажнении между зарастающими пятнами и заросшими ложбинками между ними. Комплексность растительного и почвенного покрова постепенно уменьшается, формируются более или менее однообразные растительность и почвы на месте полигональных пятнистых тундр.

Наиболее полно и четко отмеченные этапы развития пятнистых полигональных тундр и соответствующие им стадии развития растительного покрова прослеживаются в подзоне арктических тундр и в северной части подзоны лишайниково-моховых тундр. К северу и югу от арктических тундр наблюдаются существенные отличия развития пятнистых полигональных тундр от такового в подзоне арктических тундр.

ЗОНА ПОЛЯРНЫХ ПУСТЫНЬ

В южной части зоны полярных пустынь [Городков, 1956] или соответственно в северной полосе арктических тундр [Александрова, 1977] полигональные пятнистые тундры — характерная черта ландшафта. Отличительной чертой природы полярных пустынь является крайняя бедность почв питательными веществами даже на участках, где развит растительный покров. На обнаженных грунтах условия еще более суровы, и даже деятельность водорослей здесь сильно затруднена вследствие летней сухости бесструктурного грунта. Лишь в ложбинках, где температура и влажность приземного слоя воздуха и верхних слоев грунта более благоприятны для развития растений, создаются условия для роста водорослей и скудной цветковой флоры. Вероятно, вслед за бактериями первыми поселенцами на голом субстрате в ложбинках являются водоросли. Б.Н. П

Городков [1956] отмечал большое значение видов *Nostoc* в зарастании ложбинок. В ложбинках медленно образуется дерн и обособляются почвенные горизонты, в то время как на повышениях-полигонах водоросли проростки цветковых гибнут от летней сухости, эрозии и др. [Городков, 1958].

Вероятно, одновременно с цветковыми появляются в ложбинках мхи и лишайники.

Динамику растительного покрова на обнаженных суглинках в пределах северной части подзоны арктических тундр изучала В.Д. Александрова (1970) на острове Б. Ляховский. Она выявила стадии зарастания обнаженных суглинков¹.

Начальная стадия зарастания — поселение единичных пятен накипных лишайников, мелких мхов и отдельных экземпляров цветковых растений. На голых участках шириной 4—5, длиной до 12—15 м, окруженных орчкватоп-пятнистой тундрой с обилием *Alopecurus alpinus* и лютиков (*Ranunculus sulphureus*, *R. nivalis*), почти нет растительности (покрытие намного меньше 1%), единичные слоевища *Thamnia vermicularis*, мелкие пятнышки накипных лишайников — *Arthrographis anziaana*, *Lecidea* sp., единичные дернинки *Phippsia algida*, в ямках — единичные мелкие پوشки *Grimmia alpestris*, *Dicranowesia crispula*, *Aulacomnium turgidum* растущей вместе с ними *Thamnia vermicularis*, единичные экземпляры *Deschampsia brevifolia*, *Saxifraga rivularis*.

Вторая стадия — появление сети ложбинок, связанных с сетью развивающихся трещин, и поселение в них дерновинных видов цветковых растений и мхов. Благодаря возникновению трещин усыхания, сеть которых крепляется и углубляется, на поверхности обнаженного суглинка начинает намечаться тундровый нанорельеф: слабовыраженные, но ясно различимые ложбинки, образующие характерную полигональность. По этим ложбинкам начинают поселяться растения, в первую очередь дерновинные подушковидные цветковые: *Deschampsia brevifolia*, *Potentilla emarginata*, в меньшем числе случается *Luzula nivalis*, *Festuca brevifolia*, *Papaver propracum*. Прижимаясь к краям этих еще единичных дернинок и впадаясь в них, появляются под их защитой мхи *Bartramia ithyphilla*, *Drepanocladus uncinatus*, лишайники *Thamnia vermicularis*, *Cetraria hiemalis*.

Вне ложбинок на поверхности оконтуренных последними полигонами можно видеть пионерную стадию открытой группировки пятна: мелкие дернинки мхов *Ceratodon purpureus* и *Psilophilium cavifolium*, растущие вместе с ними отдельные экземпляры *Saxifraga caespitosa*, *S. rivularis*, мелкие пятна накипных лишайников *Arthrographis anziaana*, *Lecidea* sp., а также единичные слоевища *Cladonia*.

Третья стадия — появление фрагментов климаксовых микрогруппировок фитоценозов полигональных тундр. В малоснежных местах, где снег быстрее сдувается ветром и ложится слоем менее 12—15 см и где поэтому предвесенний период появляются проталины, на которых поверхность почвы подвергается морозному кипению, поверхность полигонов, оконтуренных

¹ Характеристика стадий дана в несколько сокращенном изложении.

туренных трещинами, так и остается оголенной с единичными экземплярами растущих на ней растений. В ложбинках же дерновинные и подушковидные цветковые растения, пионерными видами которых являются *Deschampsia brevifolia*, *Potentilla emarginata* и другие, упомянутые выше, разрастаются вместе с примыкающими к ним мхами и начинают формировать дернину, характерную для полигональных тундр острова, развитых в малоснежных условиях. При этом доминантом большей частью становится *Potentilla emarginata*.

Формирование климаксового фитоценоза полигональной мохово-разнотравной тундры. Полигоны со следами морозного кипения на поверхности, слегка выпуклые, возвышающиеся на 3–5 см над ложбинками, диаметром 50–70 см оконтурены сетью пологих ложбинок (залившие после схода снега трещины), ширина которых 10–15 см. На полигонах отдельные маленькие латочки мха *Psilopodium cavifolium*, мелкие пятнышки накипных лишайников: *Lecidea* sp., *Pannaria hypnorum*, единичные слоевища *Thamnia vermicularis*, дернинки *Phippsia algida*. В ложбинках — фрагменты растительной дернины, неравномерно развитой. Главным строителем этой группировки является *Deschampsia brevifolia*, местами и *Potentilla emarginata*. Растительность покрывает около 15% поверхности, большая часть ее приурочена к ложбинкам. Злаки преобладают (покрытие 12%). Кроме отмеченных видов, встречаются *Festuca brevifolia*, *Phippsia algida*, ожика — *Luzula nivalis* (покрытие 1%), *Oxyria digyna*, *Papaver polare*, *P. lapponicum*, *Saxifraga rivularis*, *Ranunculus sulphureus*, *Draba micropetala*, *Cerastium Bialynickii*, *Saxifraga cernua*. Мхи (покрытие 5%) растут с дернинами *Deschampsia brevifolia*, *Bartramia ithyphilla*, *Ditrichum flexicaule*, *Polytrichum alpinum*, *Psilopodium cavifolium* (на пятнах), лишайники (покрытие меньше 1%): *Cetraria hiascens*, *C. crispa*, *Alectoria nigricans*, *Thamnia vermicularis*, *Lecidea* sp. (на пятнах), *Pannaria hypnorum* (на пятнах).

"Зрелый" фитоценоз полигональной тундры, широко распространенный на острове в малоснежных местообитаниях, состоит из двух микрогруппировок: сомкнутой, расположенной по сети ложбинок, и открытой группировки — на суглинистых пятнах. Для мохово-разнотравной микрогруппировки ложбинок характерно наличие плотной дернины, слагающейся из разнотравья с примесью злаков, иногда также *Luzulae* тесно переплетенных с мхами, которые здесь несколько угнетены. Главными строителями этой микрогруппировки являются большей частью представители подушковидного разнотравья: *Potentilla emarginata*, *Papaver lapponicum*, *P. polare*, *Cerastium Bialynickii*, *Draba micropetala*, *D. Pohlei*, *D. pseudopilosa*, *Saxifraga caespitosa*, *Alsine rubella*, *Androsace triflora* и другие в смеси со мхами: *Hylacomium splendens* var. *alaskanum*, *Polytrichum alpinum*, *Grimmia arosarpa*, *Ditrichum flexicaule*, *Rhacomitrium canescens* и другими и лишайниками: *Thamnia vermicularis*, *Cetraria crispa*, *Alectoria nigricans* и др. Участвуют в сложении дернины также *Lloydia serotina*, *Oxyria digyna*, *Alopecurus alpinus*, *Deschampsia brevifolia*, *Poa alpigena*, *Luzula confusa*, *L. nivalis*, *Saxifraga plathysepala*, *S. nivalis*, *Stellaria Edwardsii*, *Ranunculus nivalis*, *R. sulphureus*. Встречается и *Salix polaris*, но редко в большом обилии.

Открытая микрогруппировка пятен слагается из отдельно растущих *Papaver polare*, *Cerastium Bialynickii*, *Draba micropetala*, *D. Pohlei*, *D. pseudopilosa*, отдельных побегов *Alopecurus alpinus*, *Poa arctica*, пятнышек накипных лишайников, отдельных слоевищ *Thamnia vermicularis*, отдельных небольших подушек *Rhacomitrium canescens* и некоторых других видов.

Несмотря на то, что дернина образует сеть (местами прерывающуюся) шириной всего от 5 до 20–25 см (в среднем около 10–15 см), в то время как пятна, занимающие в типичных случаях около 70% поверхности, имеют ширину около 60 (до 80) см, раскопки корневых систем показали, что и эти фитоценозы под землей сомкнуты.

В.Д. Александрова полагает, что "морозное кипение" поверхности полигонов в период появления проталин является основной причиной того, что поверхность полигонов не зарастает растительной дерниной. Эта оголенность пятен в полигональных тундрах, как показали наблюдения, является изначальной, первичной, и топография полигонов и полосок дернины в основном сохраняется все время, пока не меняется поддерживающий их соотношение снежный режим" [1970, с. 21].

"Образовавшийся в результате растрескивания оголенного суглинка полигональный нанорельеф при наличии малоснежного режима сохраняется и в климаксовых ценозах развивающихся здесь полигональных тундр, так как "морозное кипение" поверхности в предвесенний период, когда температура воздуха еще ниже 0°, препятствует зарастанию пятен. Поэтому элементы мозаики климаксовых фитоценозов полигональных тундр мало подвижны, более или менее стабилизированы, пока сохраняется малоснежный режим" [там же, с. 27].

В.Д. Александрова [1963] отмечала, что весной на пятнах рано стает снег и при заморозках наблюдается образование ледяных стебельков, морозобойных трещин. На освободившихся от снега пятнах проталин режим был исключительно неблагоприятен для растений. В дни метелей эти места подвергались интенсивной снеговой шлифовке, ежедневно происходили резкие смены температур, периодическое замерзание верхнего слоя почвы в ночные часы и оттаивание днем и, как следствие, растрескивание почвы, намерзание на ее поверхности и в трещинах ледяных стебельков, вертикальные перемещения почвенного раствора, т.е. морозное кипение, которое приводит к расслаиванию почвы, пучению ее поверхностного слоя, приобретающего в результате ноздреватый облик и слоегато-пористую структуру.

В ложбинках с растительной дерниной снег сохраняется дольше, а возникающие здесь в массе снежные парнички обуславливают раннее начало вегетации. Это способствует развитию здесь богатого разнотравья. Таким образом, в ложбинках развивается растительность, накапливаются растительные остатки, образуется перегной, пропитывающий почву. Под ложбинками постепенно формируется перегнойно-глеевая почва. Пятна здесь в результате ряда неблагоприятных условий обычно не зарастают и почва под ними формируется очень медленно. Местами почвообразование так слабо затрагивает эту почву, что она имеет свойства, "близкие к материнской породе" [Городков, 1956].

По данным Н.А. Караваевой [1969], почвы пятен арктической тундры на острове Б. Ляховский по свойствам почти аналогичны минеральным горизонтам задерненных участков. Это объясняется тем, что пятна преобладают по площади, поэтому весь участок характеризуется воднотепловым режимом, близким к таковому пятен, а на задерненных местах мало отличается от режима пятен.

Почвы пятен полигональной тундры в северной части подзоны арктических тундр нельзя считать "остаточными", как полагают некоторые почвоведы [Караваева, 1969], так как они формируются впервые, ибо "оголенность пятен в полигональных тундрах является изначальной, первичной..." [Александрова, 1970].

В северной части подзоны арктических тундр вследствие суровых климатических условий и крайней бедности субстрата питательными веществами растений развитие растительности на малоснежных участках возможно только в ложбинках между полигонами. Вследствие этого здесь наблюдается лишь первый этап развития полигональных пятнистых тундр, которому соответствуют отмеченные стадии развития растительного покрова.

ПОДЗОНА ЛИШАЙНИКОВО-МОХОВЫХ ТУНДР

Обнаженные грунты, разбитые на полигональные отдельности, формируются так же, как и в других подзонах тундры. На дренированных участках, где зимой слабо задерживается снег, зарастание их также начинается с ложбинок, в которых через несколько лет после обнажения грунта развивается почти сплошной травостой. Обильны злаки: *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Festuca brevifolia*, *Poa alpigena*, *P. arctica*, а также *Carex hyperborea*, *Equisetum arvense*, *Astragalus alpinus*, *A. frigidus*, *Dryas octopetala*, *Hedysarum obscurum*; встречаются *Lagotis stelleri*, *Lloydia serotina*, *Luzula campestris*, *L. nivalis*, *Minuartia macrocarpa*, *Saxifraga cernua*, *Stellaria longipes*, *Salix polaris*, *Valeriana capitata*. Мхи и лишайники встречаются среди трав: *Aulacomnium turgidum*, *Drepanocladus uncinatus*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Thuidium abietinum*, *Thamnolia vermicularis*, *Cetraria islandica*, *Cladonia gracilis*.

На более дренированных участках в растительном покрове ложбинок нередко преобладает дриада (*Dryas octopetala*, 30—40%), встречаются злаки: *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Festuca brevifolia*, *Poa alpigena*, *P. arctica*, разнотравье: *Equisetum arvense*, *Luzula campestris*, *L. nivalis*, *Polygonum viviparum*, *Ranunculus borealis*, *Saxifraga cernua*, *Stellaria longipes*, бобовые: *Astragalus alpinus*, *Hedysarum obscurum*. Среди трав и кустарничков изредка отмечены мхи и лишайники.

Сплошной или местами разорванный растительный покров ложбинок оконтуривает почти голые центральные повышенные полигональные площадки. На них встречаются экземпляры (проростки) *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Equisetum arvense*, *Festuca brevifolia*, *Poa alpigena*, *Salix polaris*, *Saxifraga cernua*, *Tofieldia nutans*, а также *Thamnolia vermicularis*, *Rhacomitrium lanuginosum*. Общее покрытие не превышает 3%

Почва только начинает формироваться. Серый с белесоватым (голубоватым) оттенком и ржавыми пятнами однородный суглинок лишь под ложбинками сверху слегка окрашен гумусом. Глубина протаивания под пятнами и ложбинками не отличается от таковой обнаженных грунтов и составляет 75—100 см. Ложбинки узкие (15—20 см) и неглубокие (до 10 см).

Таким путем через несколько лет на обнаженных суглинках в подзоне лишайниково-моховых тундр формируются дриадово-злаково-разнотравные или злаково-разнотравные полигональные пятнистые тундры.

Дальнейшее довольно быстрое развитие растительности в ложбинках обеспечивает защиту голых пятен от сильного ветра, эрозии, замедляет испарение с поверхности почвы, способствует задержанию снега.

Все это благоприятствует развитию проростков на пятнах и зарастанию их с краев вегетативным путем. Через несколько лет после образования обнаженного грунта развивается сплошной покров растительности не только в ложбинках, но и на пятнах.

Дриадово-злаково-разнотравные тундры или злаково-разнотравные сменяют таким путем на соответствующих местообитаниях дриадово-злаково-разнотравные полигональные пятнистые или злаково-разнотравные полигональные пятнистые тундры.

На заросших пятнах-повышениях господствует дриада (30—50%), встречаются злаки: *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Festuca brevifolia*, *Hierochloë alpina*, *Poa alpigena*, *P. arctica*, *Trisetum spicatum*, разнотравье: *Equisetum arvense*, *Lloydia serotina*, *Luzula campestris*, *L. nivalis*, *Minuartia macrocarpa*, *Polygonum viviparum*, *Potentilla stipularis*, *Ranunculus borealis*, *Saxifraga cernua*, *Stellaria longipes*, *Tofieldia nutans*, бобовые: *Astragalus alpinus*, *Hedysarum obscurum*. Среди трав и кустарничков редкие (общее покрытие до 5%) мхи: *Aulacomnium turgidum*, *Rhacomitrium lanuginosum*, *Hylocomium splendens* и лишайники: *Alectoria nigricans*, *Cetraria cucullata*, *Cladonia gracilis*, *Cl. deformis*, *Thamnolia vermicularis* и другие.

В ложбинках также обильна дриада (10—20%), встречаются *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Festuca brevifolia*, *Poa alpigena*, *P. arctica*, *Carex hyperborea*, *Equisetum arvense*, *Luzula campestris*, *Polygonum viviparum*, *Salix glauca*, *S. lanata*, *S. polaris*, *S. pulchra*, *Saxifraga cernua*, *Stellaria longipes*. Разрастаются мхи (*Hylocomium splendens*, *Aulacomnium turgidum*, *Drepanocladus uncinatus*, *Camptothecium trichoides*, *Rhacomitrium lanuginosum*, *Thuidium abietinum* и другие) и лишайники (*Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *C. nivalis*, *Cladonia gracilis*, *Peltigera aphthosa*, *Thamnolia vermicularis*).

На таких пятнах в сухой период года почва растрескивается. Гумус едва окрашивает верхние слои почвы под пятнами, в ложбинках потеки гумуса проникают по трещинам на 20—25 см в глубь почвы, формируются слабогумусные оглеенные почвы, протаивающие под пятнами на 70—100 см, под ложбинками — на 60—90 см.

Характерной особенностью развития растительности на обнаженных грунтах, разбитых трещинами-ложбинками, в подзоне лишайниково-моховых тундр является быстрое зарастание центральных участков пя-

тен-полигонов, т.е. кратковременность этапа формирования полигональных пятнистых тундр.

Постепенно мхи и лишайники разрастаются, и на повышенных участках (заросших пятнах), внедряются кустарнички, кустарники.

Травяно-кустарничково-лишайниково-моховые тундры сменяют таким путем дриадово-разнотравно-злаковые или разнотравно-злаковые тундры.

Они характеризуются комплексностью растительного покрова. На повышенных участках в травяно-кустарничковом ярусе преобладают *Dryas octopetala* (10–20%), *Salix pulchra* (10–20%), *Empetrum nigrum* (10–20%), *Ledum palustre* (10–20%), *Vaccinium uliginosum* (10–20%), *V. vitis-idaea* (10–20%), обильна *Carex hyperborea*; часто встречаются *Hierochloë alpina*, *Luzula campestris*, *L. nivalis*, *Stellaria longipes*, *Polygonum viviparum*, *Trisetum spicatum*. В напочвенном покрове, занимающем почти все промежутки между кустарничками и травами (общее покрытие до 60%), преобладают лишайники: *Thamnia vermicularis*, *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *C. nivalis*, *Cladonia deformis*, *Cl. gracilis*, *Alectoria ochroleuca*, *A. nigricans*, встречаются мхи *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens* var. *alascanum*, *Rhacomitrium lanuginosum*, *Thuidium abietinum*, *Dicranum elongatum*, *Kiaeria glacialis*, *Polytrichum juniperinum* и другие.

Гумус постепенно напитывает почву под пятнами, заметно усиливается оглеение надмерзлотных слоев ее, таким путем под заросшими пятнами формируется гумусная глеевая почва, протаивающая на 60–80 см.

В ложбинках развивается сплошной напочвенный покров высотой 3–7 см, в котором преобладают *Camptothecium trichoides* (20–40%), *Hylocomium splendens* (20–30%), *Aulacomnium turgidum* (10–30%), *Polytrichum alpestre* (10–20%), *P. juniperinum* (10–20%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. spadicum* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Rhacomitrium lanuginosum* (10–20%), часто встречаются *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *Cladonia gracilis*, *C. rangiferina*, *Peltigera apthosa*.

В травяно-кустарничковом ярусе высотой до 30 см обильны *Salix glauca*, *S. lanata*, *S. pulchra*, *Betula nana*, *Carex hyperborea*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, редко *Arctagrostis latifolia*, *Rubus chamaemorus*.

Под сплошным напочвенным покровом образуется торфянистый слой, постепенно заполняющий ложбинки, под которыми формируется торфянисто-глеевая почва, протаивающая на 50–70 см.

Постепенно и на повышениях, где были пятна, развивается сплошной напочвенный покров, травы вытесняются, кустарнички занимают господствующее положение.

Кустарничково-лишайниково-моховые тундры сменяют таким путем травяно-кустарничково-лишайниково-моховые тундры.

Эти тундры характеризуются сплошным более или менее однородным напочвенным покровом, в котором обильны дикрановые и политриховые мхи, образующие кочки и подушки. В кустарничковом ярусе высотой 5–20 см преобладают *Salix pulchra* (до 10%), *Ledum palustre* (10–20%), *Betula nana* (до 10%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–20%), *V. uliginosum* (10–20%), обильны *Salix glauca*, *S. lanata*, *Empetrum nigrum*, *Carex*

hyperborea, *Hierochloë alpina*, *Pedicularis lapponica*, *P. euphrasioides*, *Saxifraga cernua*. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium turgidum* (10–30%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. congestum* (10–20%), *D. spadicum* (10–20%), *Hylocomium splendens* var. *alascanum* (10–30%), *Camptothecium trichoides* (10–30%), *Polytrichum alpestre* (10–20%), *P. fragile* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Rhacomitrium lanuginosum* (10–20%), *Alectoria ochroleuca* (10–20%), *A. nigricans* (10–20%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *C. nivalis* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Cl. rangiferina* (10–20%), *Sphaerophorus globosus* (10–20%), *Thamnia vermicularis* (10–20%) и другие.

Торфянистый горизонт формируется и на месте заросших пятен. С развитием сплошного напочвенного покрова и накоплением торфянистого слоя уменьшается глубина протаивания почвы, нижние слои ее становятся вечномерзлыми. Поднятие водоупорного слоя вечной мерзлоты вызывает поверхностное заболачивание и повсеместное оглеение почвы. Более или менее однородная торфянисто-глеевая почва образуется таким путем на участке, занятом прежде полигонально-пятнистыми тундрами, характеризующимися комплексностью растительного и почвенного покрова. Эта почва протаивает на 20–50 см (табл. 2).

Кустарничково-лишайниково-моховые тундры — заключительная стадия развития растительного покрова на дренированных обнаженных пылеватых суглинках в подзоне лишайниково-моховых тундр Западной Сибири.

Таким образом, в подзоне лишайниково-моховых тундр полигональные пятнистые тундры — эфемерное явление в динамике ландшафта и в развитии растительного покрова на обнаженных, разбитых трещинами-ложбинками грунтах. Благоприятные климатические условия не способствуют продолжительному существованию обнаженных участков в этой подзоне. Полигональные пятнистые тундры формируются здесь только в особо благоприятных условиях для их развития. Такие тундры обычно формируются в процессе зарастания обнаженных разбитых трещинами грунтов на верхних пологих участках холмов, террас, вершинах холмов, всхолмлений, на краевых участках террас, примыкающих к их уступам. Лишь на таких участках в начале их зарастания создаются заметно различные условия для прорастания семян, спор и других зачатков растений и развития растительности между ложбинками-трещинами и повышениями между ними. Растительность развивается более успешно в ложбинках, чем на повышениях между ними. Однако через несколько лет после начала зарастания ложбинок растительность уже настолько возвышается над центральными незаросшими участками, что задерживает снег и влагу на них и создает благоприятные условия для прорастания семян, спор и зарастания вегетативных частей растений ложбинок, продвигающихся к центрам пятен. Развитие растительности на таких участках замедляет эрозию, способствует накоплению снега, формированию почвы, задерживает протаивание грунтов (см. табл. 2).

За короткий период, в течение которого грунты остаются обнаженными или слабозаросшими, эрозия не может заметно расширить и углубить трещины усыхания, поэтому ложбинки на таких участках узкие,

Таблица 2

Динамика растительного покрова на обнаженных суглинках, разбитых трещинами на полигональные отдельные, в подзоне лишайниково-моховых тундр Западной Сибири

Стадия развития	Толщина, см		Глубина протавивания, см	Этапы развития полигональных пятнистых тундр
	напочвенного покрова	торфянистого горизонта		
Дриадово-злаково-разнотравные или злаково-разнотравные полигональные пятнистые тундры	Нет	Нет	75—100 65—90	Формирование рамковой сети растительности
Дриадово-злаково-разнотравные или злаково-разнотравные тундры	0—3	Нет	70—100 60—90	Зарастание пятен-полигонов
Травяно-кустарничковые лишайниково-моховые тундры	1—3	Нет	60—80	
	3—7	3—7	50—70	
Кустарничково-лишайниково-моховые тундры	5—10	10—15	30—50	
	5—10	15—20	20—40	

неглубокие, растительный покров их не оказывает такого существенного влияния на протавивание почвы, как в полигональных пятнистых тундрах арктической подзоны. Однако и в подзоне лишайниково-моховых тундр нередко встречаются полигональные пятнистые тундры, характеризующиеся широкими (до 1 м) и глубокими ложбинками между незаросшими или слабозаросшими пятнами, а на заросших более или менее пологих склонах холмов, террас обнаруживается типичный для полигональных пятнистых тундр микрорельеф — правильное чередование повышений шириной 0,5—2,0 м, разделенных понижениями шириной 0,3—1,0 м. Толщина торфянисто-мохового слоя в понижениях заметно больше, чем на повышениях.

Это свидетельствует, что большая часть территории лишайниково-моховых тундр прошла в своем развитии этап полигональных пятнистых тундр. Можно предположить, следуя В.С. Говорухину [1960], что после отступления ледника на этой территории сформировались полигональные пятнистые тундры подобно тому, как они формируются в настоящее время в подзоне арктических тундр. В последующий период, по мере улучшения климата, они зарастали и полностью заросли. Следы древнего микрорельефа сохранились в течение тысячелетий под защитой плотного растительного покрова.

Возможно также, что разработка трещин усыхания с образованием широких и глубоких ложбин — результат многократного обнажения грунта.

При этом обнажение грунта должно происходить без существенного нарушения микрорельефа, как это наблюдается при оплывинах, оползнях, термокарсте, эрозии.

В подзоне лишайниково-моховых тундр существует ряд факторов, разрушающих растительный покров, но не нарушающих микрорельеф, например, пожары, выпас оленей. В сухой период лета тундры часто выгорают. При пожаре растительный покров и торфянистый слой на дренированных участках нередко выгорают полностью. Обнаженный грунт размывается дождевыми и снеговыми водами. При этом старые ложбинки расширяются и углубляются. После многократного выгорания и обнажения грунта формируются широкие и глубокие ложбинки, разделяющие полигональные повышения, которые в результате осыпания и размыва принимают округлые очертания. На склонах ложбины глубже и шире, чем на вершинах и плоских участках холмов, а промежутки между ними соответственно уже. На достаточном крутых склонах в результате эрозии после многократных обнажений грунта формируется своеобразный бороздчатый микрорельеф — вытянутые вдоль склона гребни перемежаются бороздами. Такой микрорельеф, развившийся на основе трещин усыхания, разбивающих грунт склонов на полигональные отдельные, обязан своим развитием почти исключительно эрозии; лишь на более пологих склонах солифлюкция также заметно влияет на его развитие.

Обнаженные в процессе пожара грунты вновь зарастают, и в соответствующих условиях формируются полигональные пятнистые тундры; вернее, они возобновляются на прежних местах. В отличие от первичных полигональных пятнистых тундр, развивающихся на обнаженном, впервые разбитом трещинами субстрате, пятнистые тундры, развивающиеся после пожара (или уничтожения растительного покрова другими агентами) на месте заросших пятнистых полигональных тундр, правильнее называть вторичными.

Развитие растительного и почвенного покрова здесь идет иным путем, чем на впервые обнажившихся участках и зависит от степени выгорания растительности и торфянистого слоя почвы.

Обычно пожары в тундре уничтожают полностью торфянисто-моховой покров только на повышенных, более сухих участках (заросших пятнах), в то время как в ложбинках между ними травы, кустарнички, мхи и лишайники повреждаются, но не гибнут. Зола с повышений-пятен сносится ветром, водой в ложбинки, поэтому почва пятен после пожара сильно обедняется элементами минерального питания растений. Вследствие этого, а также неблагоприятных условий увлажнения (сухости почвы в период вегетации) пятна зарастают медленно, и на них создаются условия для смыва верхних слоев почвы, растрескивания ее и др. После пожара поврежденный растительный покров ложбинок довольно быстро восстанавливается, заметно обогащаясь травами, в то время как пятна остаются незаросшими.

Травяно-кустарничково-лишайниково-моховые полигональные пятнистые тундры таким путем развиваются через несколько лет после пожаров, полностью уничтоживших растительный покров и торфянистый слой только на повышенных участках (бугорках-полигонах).

В ложбинках между пятнами в травяно-кустарничковом ярусе высотой 10—15 см преобладают разные виды на разных участках, а именно:

Vaccinium uliginosum (10–30%), *V. vitis-idaea* (10–20%), *Dryas octopetala* (10–20%), *Empetrum nigrum* (10–20%), *Ledum palustre* (10–20%), *Betula nana* (10–20%), *Salix glauca* (10–20%), *Salix lanata* (10–30%), *S. pulchra* (10–20%), *Arctous alpina* (10–20%), *A. erythrocarpa* (10–20%), встречаются часто *Arctagrostis latifolia*, *Calamagrostis neglecta*, *Carex hyperborea*, *Eriophorum vaginatum*, *Hierocloë alpina*, *Luzula campestris*, *Pedicularis lapponica*, *P. sudetica*, *Pyrola grandiflora*, *Polygonum viviparum*. Общее покрытие яруса – 40–60%.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium turgidum* (10–30%), *Camptothecium trichoides* (10–30%), *Dicranum congestum* (10–20%), *D. elongatum*, (10–20%), *D. spadiceum* (10–20%), *Hylocomium splendens* (10–20%), *Pleurozium schreberi* (10–20%), *Polytrichum alpinum* (10–20%), *P. alpestre* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Rhacomitrium lanuginosum* (10–20%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Cl. rangiferina* (10–20%), *Peltigera aphthosa* (10–20%), *Thamnia vermicularis* (10–20%), часто встречаются: *Cladonia amaurocraea*, *Cl. coccifera*, *Cl. deformis*, *Alectoria ochroleuca*, *A. nigricans*, *Stereocaulon paschale*.

Пятна совершенно голые либо покрыты блестящей морщинистой корочкой водорослей и накипных лишайников, на их поверхности отдельные экземпляры проростков цветковых: *Arctous alpina*, *A. erythrocarpa*, *Arctagrostis latifolia*, *Betula nana*, *Dryas octopetala*, *Carex hyperborea*, *Empetrum nigrum*, *Festuca brevifolia*, *Hierochloë alpina*, *Hedysarum obscurum*, *Luzula campestris*, *L. nivalis*, *Minuartia macrocarpa*, *Salix nummularia*, *S. polaris*, *S. pulchra*, *Saxifraga cernua*; хвоща: *Equisetum arvense*, куртинки лишайников – *Alectoria ochroleuca*, *A. nigricans*, *Cetraria cucullata*, *C. nivalis*, *Cladonia coccifera*, *Cl. deformis*, *Cl. gracilis*, *Stereocaulon paschale*, *Thamnia vermicularis*; мхов: *Aulacomnium turgidum*, *Polytrichum alpinum*, *P. alpestre*, *Rhacomitrium lanuginosum*. Общее покрытие – не более 10%.

Почвы пятен, восстановившихся после выгорания растительного покрова, на повышениях отличаются от почв понижений между пятнами морфологически только отсутствием торфянистого горизонта. Минеральные слои почв напитаны гумусом, темно-серые с голубоватым оттенком, белесоватыми примазками и ржавыми пятнами и полосами. Почвы характеризуются резкими различиями водно-теплового режима. Торфянисто-гумусовые глеевые почвы в ложбинках медленнее прогреваются и протаивают, они более влажные и соответственно более льдистые зимой, чем гумусовые глеевые почвы пятен. Глубина протаивания суглинистых почв на пятнах – 70–100 см, между ними – 25–50 см.

Большое сходство свойств минеральных горизонтов почв пятен и заросших ложбинок между ними неоднократно отмечалось исследователями [Городков, 1956; 1958; Игнатенко, Норин, 1969; Караваева, Полтева, 1967; Караваева, 1969; и др.]. Оно объясняется способом образования таких пятнистых тундр.

На пятнах разрастаются поселившиеся виды цветковых, лишайников, мхов, на них наступают от ложбинок (бордюров) *Arctous alpina*, *A. erythrocarpa*, *Betula nana*, *Dryas octopetala*, *Carex hyperborea*, *Empetrum*

nigrum, *Ledum palustre*, *Salix pulchra*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Rhacomitrium lanuginosum*, *Rhytidium rugosum*, *Thuidium abietinum*, *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *Cladonia rangiferina*, *Thamnia vermicularis* и другие. Постепенно пятна зарастают сплошь. Обычно вначале в напочвенном покрове заросших пятен преобладают лишайники, в ложбинках господствуют мхи.

Травяно-кустарничково-лишайниково-моховые тундры сменяют полигональные пятнистые тундры. Они характеризуются комплексным растительным покровом.

На пятнах преобладают лишайники *Alectoria ochroleuca* (10–20%), *A. nigricans* (10–20%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *C. nivalis* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Cl. rangiferina* (10–20%), *Dactylina arctica* (10–20%), *Sphaerophorus globosus* (10–20%), *Stereocaulon paschale* (10%), *Thamnia vermicularis* (10–20%), часто встречаются *Cl. coccifera*, *Cl. deformis*, *Cl. uncialis*, *Cl. amaurocraea* и другие, обильны мхи: *Aulacomnium turgidum*, *Dicranum congestum*, *D. elongatum*, *D. spadiceum*, *Kiaeria glacialis*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Polytrichum alpinum*, *P. alpestre*, *P. juniperinum*, *Ptilidium*, *ciliare*, *Rhacomitrium lanuginosum*, *Rhytidium rugosum*, *Thuidium abietinum*.

В травяно-кустарничковом ярусе обильны *Arctous alpina*, *A. erythrocarpa*, *Betula nana*, *Carex hyperborea*, *Dryas octopetala*, *Ledum palustre*, *Salix polaris*, *S. nummularia*, *S. pulchra*, *Tofieldia nutans*, изредка *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Equisetum arvense*, *Festuca brevifolia*, *Hierochloë alpina*, *Hedysarum obscurum*, *Minuartia macrocarpa*, *Polygonum viviparum*, *Saxifraga cernua*, *Stellaria longipes*, *Valeriana capitata*.

В ложбинках между пятнами преобладают мхи: *Aulacomnium turgidum* (10–30%), *Camptothecium trichoides* (10–30%), *Hylocomium splendens* (10–30%), *Dicranum congestum* (10–20%), *D. elongatum* (10–20%), *D. spadiceum* (10–20%), *Kiaeria glacialis* (10–20%), *Polytrichum alpinum* (10–20%), *P. juniperinum* (10–20%), *P. alpestre* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Rhacomitrium lanuginosum* (10–20%), обильны лишайники: *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Cl. rangiferina* (10–20%), *Peltigera aphthosa* (10–20%).

В травяно-кустарничковом ярусе преобладают *Betula nana* (10–20%), *Empetrum nigrum* (10–20%), *Ledum palustre* (10–20%), *Salix pulchra* (10–20%), *Vaccinium uliginosum* (10–20%), обильны *Carex hyperborea*, *Salix glauca*, *S. lanata*, *Vaccinium vitis-idaea*, встречаются *Arctous alpina*, *A. erythrocarpa*, *Arctagrostis latifolia*, *Calamagrostis neglecta*, *Dryas octopetala*, *Hierochloë alpina*, *Luzula campestris*, *Pedicularis lapponica*, *P. sudetica*. Общее покрытие яруса – 30–40%.

Эта стадия характеризуется разрастанием мхов в ложбинках, изреживанием и выпадением трав и кустарничков. Глубина протаивания почв в ложбинках уменьшается, торфянисто-гумусовые глеевые суглинистые почвы протаивают здесь на 20–40 см. Под мохово-лишайниковым покровом зарастающих пятен торфянистый горизонт еще только начинает формироваться, глубина протаивания почв еще довольно велика – 60–80 см.

Таблица 3

Динамика растительного покрова после пожара, уничтожившего растительность на повышениях, в подзоне лишайниково-моховых тундр Западной Сибири

Стадия развития	Толщина, см		Глубина протаивания, см	Этапы развития полигональных пятнистых тундр
	напочвенного покрова	торфянистого горизонта		
Травяно-кустарничково-лишайниково-моховые полигональные пятнистые тундры	Нет 5-7	Нет 10-15	70-100 25-50	Формирование рамковой сети растительности
Травяно-кустарничковые лишайниково-моховые тундры	3-5 5-10	0-5 15-20	60-80 20-40	Зарастание пятен-полигонов
Кустарничково-лишайниково-моховые тундры	5-10 5-10	10-15 15-20	30-50 20-40	

В дальнейшем мхи разрастаются и на пятнах, формируется торфянистый горизонт почвы, кустарнички и травы изреживаются, многие травы выпадают.

Кустарничково-лишайниково-моховые тундры сменяют травяно-кустарничково-лишайниково-моховые тундры. Они отличаются от подобных охарактеризованных тундр (с. 34, 35) большей пестротой растительного покрова. Это обусловлено тем, что на повышениях (заросших пятнах) лишайники занимают большую площадь, чем в ложбинках, почти полностью заполненных торфянисто-моховым слоем, соответственно и мощность торфянистого горизонта в ложбинках больше, чем на заросших пятнах. Ложбинки здесь значительно шире (до 100 см), чем на заросших участках первичных полигональных пятнистых тундр, где ширина их обычно не превышает 20 см. Глубина протаивания почв соответственно меньше, чем на участках травяно-кустарничково-лишайниково-моховых тундр (табл. 3). По видовому составу трав, кустарничков, кустарников, мхов и лишайников они почти не отличаются от кустарничково-лишайниково-моховых тундр, развившихся на впервые обнаженных грунтах.

На очень сильно выгоревших участках, где пожар уничтожил торфянистый слой почвы полностью даже в ложбинках, нередко смывается и уносится ветром не только зола, но и верхние минеральные слои почвы. Образуются крайне бедные элементами минерального питания растений местообитания, особенно на супесях и пылеватых песках. На дренированных участках такие местообитания зарастают медленно, так как из-за сухости и бедности субстрата семена и другие зачатки растений плохо прорастают и приживаются, проростки часто гибнут, вегетативное разрастание невозможно вследствие полной гибели растений во время пожара.

На таких участках эрозия разрабатывает ложбинки, смывается почва с повышений.

В подобных условиях в ложбинках поселяются, очевидно, вслед за водорослями лишайники, выносящие крайнюю сухость субстрата: *Alectoria ochroleuca* (10-20%), *A. nigricans* (10-20%), *Cetraria cucullata* (10-20%), *C. nivalis* (10-20%), *Thamnia vermicularis* (10-20%), *Cladonia ciccifera*, *Cl. deformis*, *Cl. gracilis*, *Dactylina arctica*, *Sphaerophorus globosus*, мхи единичны — *Polytrichum alpinum*, *P. alpestre*. Из цветковых вначале поселяются олиготрофные *Carex hyperborea*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis idaea*, *Luzula campestris*.

На повышениях-пятнах господствуют черные корковые лишайники. В сухое время пятна покрываются трещинами, местами на пятнах корочка черных лишайников оттеснена к краям и собрана здесь в складки, пятна в этом случае напоминают сковородку, залитую жидким тестом. Существенных различий в протаивании почв между ложбинками и пятнами не наблюдается. Пылеватые мелкие пески в центральной части Ямала на таких тундрах протаивают на 85-110 см в понижениях-ложбинках и на 90-120 см на повышениях-пятнах, глубина ложбинок обычно не больше 15 см.

Такие тундры можно назвать лишайниково-полигонально-пятнистыми.

Постепенно в ложбинках разрастаются лишайники, кустарнички, развиваются мхи, поселяются травы, кустарники.

Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые полигональные пятнистые тундры сменяют лишайниковые полигональные пятнистые тундры. В ложбинках и на бордюрах пятен встречаются *Equisetum arvense*, *Carex hyperborea*, *Festuca brevifolia*, *Luzula campestris*, *L. nivalis*, *Hedysarum obscurum*, подрост ив (*Salix glauca*, *S. lanata*, *S. nummularia*, *S. polaris*), *Betula nana* часто *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Empetrum nigrum*, *Tofieldia nutans*, *Minuartia macrocarpa*. В напочвенном покрове, кроме характерных для первой стадии лишайников и мхов, встречаются *Camptothecium trichoides*, *Dicranum elongatum*, *Hylocomium splendens*, *Rhacomitrium lanuginosum*.

Поверхность пятен покрыта черной корочкой лишайников. Цветковые растения, развившиеся в ложбинках, продвигаются на пятна. На пятна наступают ивы (*Salix nummularia*, *S. polaris*, *S. glauca*), *Betula nana*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Equisetum arvense*, *Carex hyperborea*, *Festuca brevifolia*, *Luzula campestris*, *Minuartia macrocarpa* и другие. Постепенно пятна зарастают травами, кустарничками, лишайниками и мхами. На зарастающих пятнах характерно обилие лишайников: *Alectoria ochroleuca* (10-20%), *A. nigricans* (10-20%), *Cetraria cucullata* (10-20%), *C. islandica* (10-20%), *C. nivalis* (10-20%), *Cladonia gracilis* (10-20%), *Cl. rangiferina* (10-20%), *Cl. coccifera*, *Cl. deformis*, *Thamnia vermicularis* (10-20%). Лишайниковый покров заметно контрастирует с покровом ложбинок, где господствуют мхи.

Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры сменяют травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые полигональные пятнистые тундры.

На повышениях (заросших пятнах) преобладают *Dryas octopetala* (10–30%), *Empetrum nigrum* (10–20%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–20%), *Carex hyperborea* (10%), обильны *Equisetum arvense*, *Festuca brevifolia*, *Luzula campestris*, *Salix polaris*, *S. numullaria*, изредка встречаются *Alopecurus alpinus*, *Betula nana*, *Hierochloa alpina*, *Ledum palustre*, *Minuartia macrocarpa*, *Pyrola grandiflora*, *Salix pulchra*, *Saxifraga cernua*, *Tofieldia nutans*, *Vaccinium uliginosum*. В напочвенном покрове преобладают лишайники (виды их перечислены на с. 41), встречаются мхи.

В ложбинках преобладают кустарники *Betula nana* (10–20%), *Salix glauca* (10–20%), *S. lanata* (10–20%), кустарнички: *Empetrum nigrum* (10–20%), *Ledum palustre* (10–20%), *Vaccinium uliginosum* (10–20%), *V. vitis-idaea* (10–20%), встречаются изредка *Arctagrostis latifolia*, *Calamagrostis neglecta*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex hyperborea*, *Rubus chamaemorus*, *Pedicularis lapponica*, *P. euphrasioides*. Высота кустарников и кустарничков не больше 30 см.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium turgidum* (10–30%), *Camptothecium trichoides* (10–30%), *Hylocomium splendens* (10–40%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. spadicum* (10–20%), *Polytrichum fragile* (10–20%), *P. alpestre* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Cetraria islandica* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Peltigera aphthosa* (10–20%), обильны *Cetraria cucullata*, *Dactylina arctica*, *Thamnia vermicularis*.

В ложбинах постепенно формируется торфянистый горизонт и уменьшается глубина протаивания почвы, глеевый процесс захватывает всю почву. Торфянисто-глеевая почва протаивает здесь на 30–50 см. На заросших пятнах почва также восстанавливается, гумусовая глеевая почва протаивает на 60–80 см.

На пятнах в дальнейшем разрастаются мхи, травы угнетаются, и часть их выпадает. Создается более или менее однообразное, хотя и мозаичное, распределение растительности на полностью заросшей полигональной пятнистой тундре.

Кустарничково-лишайниково-моховые тундры сменяют травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые.

В травяно-кустарничковом ярусе высотой 5–20 см преобладают разные виды на разных участках: *Betula nana* (10–20%), *Ledum palustre* (10–20%), *Salix pulchra* (10–20%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–20%), обильны *Carex hyperborea*, *Empetrum nigrum*, *Rubus chamaemorus*, *Salix glauca*, *Vaccinium uliginosum*, *Arctagrostis latifolia*, *Pedicularis euphrasioides*. Общее покрытие яруса – 20–40%.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium turgidum* (10–30%), *Camptothecium trichoides* (20–40%), *Dicranum fuscensens* (10–20%), *D. elongatum* (10–20%), *D. spadicum* (10–20%), *Hylocomium splendens* (10–20%), *Pleurozium schreberi* (10–20%), *Polytrichum alpinum* (10–20%), *P. alpestre* (10–20%), *Rhacomitrium lanuginosum* (10–20%), *Alectoria ochroleuca* (10–20%), *A. nigricans* (10–20%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *C. nivalis* (10–20%), *Dactylina arctica* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Cl. rangiferina* (10–20%), *Sphaerophorus globosus* (10–20%), *Thamnia vermicularis* (10–

Таблица 4

Динамика растительного покрова после пожара, уничтожившего растительность в ложбинках и на повышениях, на пылеватых мелках песках в подзоне лишайниково-моховых тундр Ямала

Стадия развития	Толщина, см		Глубина протаивания, см	Этапы развития полигональных пятнистых тундр
	напочвенного покрова	торфянистого горизонта		
Лишайниковые полигональные пятнистые тундры	0–0,5	Нет	90–120	Формирование рамочной сети растительности
	3–5	Нет	85–110	
Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые полигональные пятнистые тундры	0–0,5	Нет	90–120	
	5–7	0–5	70–90	
Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры	3–5	0–5	60–80	Зарастание пятен-полигонов
	5–10	10–15	30–50	
Кустарничково-лишайниково-моховые тундры	5–10	10–15	30–55	
	5–10	15–20	20–40	

20%), часто встречаются *Cladonia amaurocraea*, *Cl. deformis*, *Cl. uncialis*, *Peltigera aphthosa*, *Nephroma arcticum*.

Почва – торфянисто-глеевая, протаивает на 20–55 см.

Таким путем после полного выгорания растительного покрова и торфянистого горизонта почвы восстанавливается растительность тундры на пылеватых мелкопесчаных почвах. В начале процесса восстановления растительности создаются условия для формирования пятнистых полигональных тундр. В период развития полигональных пятнистых тундр пятна размываются, растрескиваются от мороза и высыхания, набухают в сырое время, на них образуются ледяные стебельки, верхние слои почвы пятен разрушаются, глеевый процесс в них прекращается и сменяется окислением закисных соединений металлов.

Неблагоприятные физические условия на пятнах не могут долго задерживать развитие растительности вследствие того, что они постепенно смягчаются по мере развития растительности в ложбинках. Поэтому пятна зарастают, и с восстановлением растительности на них восстанавливается и почва, прекращаются или ослабевают неблагоприятные воздействия ряда физических факторов (растрескивание, эрозия и т.п.).

Восстанавливаются растительный покров и условия его развития, существовавшие до пожара (табл. 4).

ПОДЗОНА КУСТАРНИКОВЫХ ТУНДР

В подзоне кустарниковых тундр процесс формирования пятнистых полигональных тундр в сущности почти не отличается от такового в подзоне лишайниково-моховых тундр. Вследствие того, что климат этой подзоны благоприятнее для развития растительности, чем климат типичной тундры, обнаженные участки зарастают быстрее. Однако в связи с увеличением количества осадков и их интенсивности эрозия здесь проявляется более заметно, чем в подзоне лишайников-моховых тундр, поэтому ложбинки между пятнами более глубоки.

Из-за быстрого зарастания обнаженных грунтов, с одной стороны, и частых пожаров, с другой, в этой подзоне вторичные полигональные пятнистые тундры встречаются значительно чаще, чем первичные, хотя и те и другие занимают очень небольшую площадь и не играют существенной роли в растительном покрове данной территории.

В глубоких ложбинках на дренированных участках развивается растительный покров из влаголюбивых мхов (*Aulacomnium palustre*, *Campthothecium trichoides*, сфагнов), который во время пожаров не выгорает, и подземные органы растений, расположенные в этом покрове и торфянистом горизонте, сохраняются, и после пожара эти растения быстро восстанавливаются.

Растительный покров пятнистых полигональных тундр, образующийся после частичного выгорания растительности на повышениях-полигонах, характеризуется разнообразием, пестротой, комплексностью, что обусловлено различной степенью нарушения его и особенностями восстановления в различных условиях микрорельефа.

Травяно-кустарничково-лишайниково-моховые полигональные пятнистые тундры развиваются через несколько лет после пожара, уничтожившего полностью растительность повышений и только повредившего растительный покров понижений. Повышенные участки подвергаются дефляции и эрозии, зола смывается и уносится ветром, обнажается минеральный грунт — глеевый горизонт. Вследствие растрескивания почвы и глубокого протаивания ее после пожара начинается окисление закисных соединений железа и других металлов, и почва постепенно теряет голубоватую или синеватую окраску.

Семена и другие зачатки растений вначале не задерживаются на голых пятнах повышений, они сносятся в понижения-ложбинки, где и развиваются. В ложбинках также отрастают поврежденные пожаром кустарники, кустарнички, травы, мхи и лишайники. Таким путем формируются полигональные пятнистые тундры.

В травяно-кустарничковом ярусе в ложбинках и на бордюрах пятен преобладают кустарнички: *Arctous alpina* (10–30%), *A. erythrocarpa* (10–30%), *Empetrum nigrum* (10–20%), *Ledum palustre* (10–20%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–20%), *V. uliginosum* (10–30%), местами *Betula nana* (10–30%), *Carex hyperborea* (10%), часто встречаются ивы (*Salix glauca*, *S. lanata*, *S. nummularia*, *S. pulchra*), высота их не больше 20 см, а также *Alopecurus alpinus*, *Arctagrostis latifolia*, *Calamagrostis neglecta*, *Eriophorum vaginatum*, *Festuca brevifolia*, *Hedysarum obscurum*, *Hiero-*

chloë alpina, *Luzula campestris*, *Minuartia macrocarpa*, *Pedicularis lapponica*, *P. euphrasioides*, *P. sudetica*, *Polygonum viviparum*, *Saxifraga cernua*, *Stellaria longipes*, *Tofieldia nutans*, *Valeriana capitata*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium palustre* (10–30%), *Campthothecium trichoides* (20–40%), *Aulacomnium turgidum* (10–20%), *Hylocomium splendens* (10–20%), *Sphagnum compactum* (10–20%), *Sph. girgensohnii* (10–20%), часто встречаются *Dicranum elongatum*, *D. spadicum*, *Pleurozium schreberi*, *Rhytidium rugosum*, *Polytrichum alpestre*, *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *Cladonia rangiferina* (10–20%), *Cl. amaurocraea*, *Cl. deformis*, *Cl. cornuta*, *Cl. gracilis*, *Cl. uncialis*, *Cetraria nivalis*, *Peltigera aphthosa*, *Stereocaulon paschale*, *Thamnotia vermicularis* (10–20%).

Пятна совершенно голые либо на них встречаются отдельные экземпляры сосудистых растений или куртинки лишайников, мхов, общее покрытие их не превышает 5% (виды те же, что и на голых пятнах тундр лишайниково-моховой подзоны, с. 32).

Такие тундры характеризуются глубоким протаиванием почвы под пятнами, где суглинки протаивают на 80–100 см, в то время как под мощным торфянисто-моховым слоем толщиной до 15–20 см между пятнами в ложбинках залегают болванки льдистого торфа или льда с торфом, не оттаивающие к концу вегетации. Таким образом, создаются резкие отличия в температурном режиме, в динамике влажности почв и других условиях между пятнами и ложбинками.

По мере увеличения высоты кустарников и кустарничков в ложбинках и на бордюрах, снег все более задерживается на поверхности пятен, уменьшаются эрозия и дефляция, растрескивание, улучшается режим увлажнения поверхностных слоев почвы. Пятна покрываются корочкой водорослей и лишайников, на них появляются всходы трав, кустарничков и кустарников. На пятна наступают с бордюров *Arctous alpina*, *A. erythrocarpa*, *Betula nana*, *Carex hyperborea*, *Dryas octopetala*, *Eriophorum vaginatum*, *Festuca brevifolia*, *Empetrum nigrum*, *Ledum palustre*, *Minuartia macrocarpa*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Salix nummularia*.

Характерны семенной подрост ив на пятнах (*Salix glauca*, *S. lanata*) и *Betula nana*, а также обилие всходов *Polygonum viviparum*, *Salix polaris*, *S. reticulata*.

Постепенно развивается кустарничковый ярус на пятнах и между ними.

Ивняковые кустарничково-лишайниково-моховые тундры сменяют травяно-кустарничково-лишайниково-моховые полигональные пятнистые тундры. Высота кустарничкового яруса — 40–60 см, сомкнутость полога — 0,3–0,5, в нем преобладают *Salix glauca*, *S. lanata* и *Betula nana* в самых различных соотношениях.

На заросших пятнах в травяно-кустарничковом ярусе высотой 5–15 см обильны *Arctous alpina*, *A. erythrocarpa*, *Dryas octopetala*, *Carex hyperborea*, *Empetrum nigrum*, *Festuca brevifolia*, *Polygonum viviparum*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, изредка — *Astragalus frigidus*, *A. alpinus*, *Hedysarum obscurum*, *Salix polaris*, *S. reticulata*, *Saxifraga cernua*, *Stellaria longipes*, *Minuartia macrocarpa*, *Pyrola grandiflora*, *Tofieldia nutans*. Общее покрытие яруса — 10–30%.

В почти сплошном напочвенном покрове преобладают лишайники *Alectoria ochroleuca* (10%), *A. nigricans* (10%), *Cetraria cucullata* (10%), *C. islandica* (10–20%), *C. nivalis* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Cl. rangiferina* (10–20%), *Thamnolia vermicularis* (10–20%), обильны *Cladonia coccifera*, *Cl. deformis*, *Cl. cornuta*, *Cl. uncialis*, *Peltigera aphthosa*, *Dactylina arctica*, *Dicranum fuscescens*, *D. elongatum*, *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum alpestre*, *Ptilidium ciliare*, *Rhytidium rugosum*.

В ложбинках в травяно-кустарничковом ярусе высотой до 20 см обильны *Carex hyperborea*, *Empetrum nigrum*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Salix pulchra*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*. Общее покрытие яруса – 10–20%.

В сплошном напочвенном покрове господствуют *Aulacomnium palustre* (10–30%), *Camptothecium trichoides* (20–40%), *A. turgidum* (10–30%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. spadicum* (10–20%), *Polytrichum alpestre* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Sphagnum compactum* (10–20%), *Sph. girgensohnii* (10–20%), *Cetraria islandica* (10–20%), *Cladonia rangiferina* (10–20%), *Peltigera aphthosa* (10–20%), обильны *Cetraria cucullata*, *Cladonia gracilis*, *Dactylina arctica*.

На заросших пятнах восстанавливается торфянистый горизонт, усиливается процесс оглеения почвы по мере уменьшения глубины протаивания и поднятия уровня надмерзлотных грунтовых вод. Гумусные глеевые пылевато-суглинистые почвы на пятнах протаивают на 60–90 см, в ложбинках между пятнами под торфянистым слоем вечная мерзлота залегает на глубине 20–40 см.

На заросших пятнах особенно разрастаются подушки политриховых и дикрановых мхов, накапливается торфянистый слой. С развитием мхов угнетаются травы, кустарнички, некоторые из них выпадают.

Ивняковые кустарничково-лишайниково-моховые тундры сменяют ивняковые травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры. В кустарничковом ярусе высотой 50–70 см преобладают те же ивы и карликовая береза. В кустарничковом ярусе высотой 5–30 см преобладают *Ledum palustre* (10–20%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–20%), *V. uliginosum* (10%), *Empetrum nigrum*, *Carex hyperborea* (10%), *Eriophorum vaginatum* (10%), *Salix pulchra* (10%), изредка *Arctous alpina*, *A. erythrocarpa*, *Dryas punctata*, *Pedicularis lapponica*, *P. euphrasioides*, *Polygonum viviparum*, *Tofieldia nutans*. Общее покрытие яруса – 30–60%.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium turgidum* (10–30%), *A. palustre* (10–20%), *Camptothecium trichoides* (10–30%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. congestum* (10–20%), *D. spadicum* (10–20%), *Polytrichum alpestre* (10–20%), *P. fragile* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Sphagnum compactum* (10–20%), *Sph. angustifolium* (10–20%), *Sph. girgensohnii* (10–20%), *Alectoria ochroleuca* (10%), *A. nigricans* (10%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10%), *Cl. rangiferina* (10–20%), *Dactylina arctica* (10–20%), *Nephroma arcticum* (10–20%), *Peltigera aphthosa* (10–20%).

Лишайники на заросших пятнах-повышениях более обильны, чем в ложбинках, где полностью господствуют мхи. Торфянисто-глеевые п

Таблица 5

Динамика растительного покрова после пожара, уничтожившего растительность на повышениях, в подзоне кустарничковых тундр Западной Сибири

Стадия развития	Толщина, см		Глубина протаивания, см	Этапы развития полигональных пятнистых тундр
	напочвенного покрова	торфянистого горизонта		
Травяно-кустарничково-лишайниково-моховые полигональные пятнистые тундры	Нет	Нет	80–100	Формирование рамковой сети растительности
	5–10	10–20	20–50	
Ивняковые травяно-кустарничково-лишайниково-моховые тундры	3–7	0–5	60–90	Зарастание пятен-полигонов
	5–10	10–25	20–40	
Ивняковые кустарничково-лишайниково-моховые тундры	5–12	5–20	30–70	
	5–12	10–30	20–30	

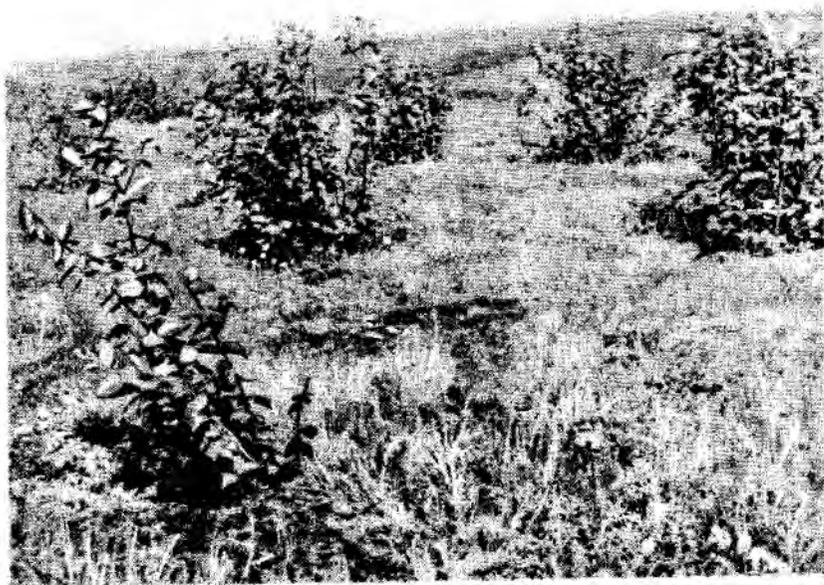
левато-суглинистые почвы протаивают на заросших пятнах на 30–70 см, в ложбинках – на 20–30 см.

Таким путем развивается растительность на нарушенных пожарами участках, характеризующихся наличием погребенного под торфянисто-моховым слоем полигонального микрорельефа в подзоне кустарничковых тундр. Сформировавшиеся в начальный этап зарастания полигональные пятнистые тундры существуют недолго, пятна быстро (через несколько лет) зарастают, и на их месте постепенно восстанавливается растительный покров и почвы, типичные для этой подзоны. По мере развития растительного покрова уменьшается глубина протаивания почв на пятнах-повышениях, замедляются и прекращаются эрозия, дефляция, морозное кипение, растрескивание грунтов и т.п. (табл. 5).

Наиболее сложный по количеству характерных стадий развития растительного покрова процесс зарастания обнажившегося после пожара полигонального микрорельефа наблюдается в южной части подзоны кустарничковых тундр и в северной лесотундре вблизи ольшанников.

Через несколько лет после пожара, уничтожившего растительный покров и торфянистый слой повышения, расположенных в правильном порядке, в понижениях развивается растительность, оконтуривающая более или менее округлые или овальные пятна оголенного грунта.

В понижениях и на бордюрах в травяно-кустарничковом ярусе высотой до 30 см обильны *Arctous alpina* (10%), *A. erythrocarpa* (10%), *Betula nana* (10%), *Dryas octopetala* (10–20%), *Carex globularis* (10%), *Equisetum arvense* (10%), *Empetrum nigrum* (10%), *Salix glauca* (10%), *S. pulchra* (10%), *Vaccinium uliginosum* (10%), *V. vitis-idaea* (10%), час-



Р и с. 7. Подрост ольхи на пятнах в тундре

то встречаются *Carex hyperborea*, *Festuca ovina*, *Pedicularis lapponica*, *P. euphrasioides*, *Pyrola grandiflora*, *Polygonum viviparum*, *Salix lanata*, *S. reticulata*, *Tofieldia nutans*, *Valeriana capitata*. Общее покрытие трав и кустарничков — 30–60%. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Aulacomnium turgidum* (20–40%), *A. palustre* (10–20%), *Camptothecium trichoides* (10–20%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *Hylocomium splendens* (10–40%), *Pleurozium schreberi* (10–40%), *Polytrichum commune* (10–30%), *P. alpestre* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *Peltigera aphthosa* (10–20%), обильны *Cetraria nivalis*, *Cladonia coccifera*, *Cl. deformis*, *Cl. gracilis*, *Cl. uncialis*, *Dactylina arctica*, *Thamnolia vermicularis*.

Так формируются травяно-кустарничковые лишайниково-моховые полигональные пятнистые тундры. Для них характерно наличие подроста ольхи, который развивается на пятнах и бордюрах (рис. 7). Развитие ольхи вносит существенные изменения в динамику растительного покрова таких тундр.

Ольха образует сомкнутый ярус, по мере его развития увеличивается опад листьев, покрывающих почву сплошным слоем и подавляющих развитие мхов и лишайников. Разлагаясь, опад обогащает почву элементами минерального питания растений. В клубеньках на корнях ольхи развиваются азотофиксирующие микроорганизмы, способствующие улучшению снабжения растений азотом. Все это вызывает пышное развитие трав, угнетение и даже гибель кустарничков вследствие затенения.

Таким путем на месте пятнистых полигональных тундр формируются ольшанники травяные. Ольха (*Alnus fruticosa*) высотой 1,5–3,0 м обра-

зует сомкнутый ярус (сомкнутость полога — 0,6–0,8), в котором встречаются ивы (*Salix lanata*, *S. phylicifolia*), во втором кустарничковом ярусе высотой 60–100 см преобладает карликовая береза, часто встречается *Salix glauca*.

В травостое обычно преобладают *Calamagrostis langsdorffii* (20–50%), *Equisetum arvense* (10–20%), *Geranium albiflorum* (10–20%), *Rubus arcticus* (10–20%), обильны *Festuca ovina*, *Ranunculus borealis*, *Polemonium acutiflorum*, *Trientalis europaеа*, изредка угнетенные кустарнички: *Empetrum nigrum*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*.

Напочвенный покров редкий (покрытие не более 20%), обычно состоит из *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*, *P. alpestre*, *Ptilidium ciliare*.

Наличие повышений диаметром 0,5–2,0 м, высотой до 25 см, разделенных узкими (1–30 см) или широкими (0,5–1,0 м) ложбинками, свидетельствует о наличии в недавнем прошлом пятнистых полигональных тундр на этих участках.

В ольшанниках накапливается много (до 100 см) снега, поэтому сезоннооттаивающий слой почвы не промерзает полностью в течение зимы, а летом сезонномерзлый слой протаивает полностью в течение части лета, а затем оттаивают верхние слои вечной мерзлоты. Сезонная мерзлота таким путем отрывается от вечной, верхняя поверхность последней постепенно опускается. Дождевые воды просачиваются все глубже в почву, способствуя ее аэрации, температура почвы также повышается, что способствует разложению опада и корней. В результате глеевый горизонт опускается ниже, чем на пятнистых тундрах, а гумус проникает в нижние слои почвы. Так под ольшанниками формируются гумусные слегка оглеенные почвы.

В дальнейшем в ольшанниках постепенно накапливается слой подстилки, состоящий в основном из побегов вейника. Слабопроводящий тепло слой подстилки замедляет прогревание и протаивание почвы, затрудняет возобновление ольхи, рост ее также угнетается. Разложение растительных остатков замедляется, почва становится беднее элементами минерального питания растений. В результате ольха угнетается и изреживается, уменьшается опад листьев, начинают разрастаться мхи, многие травы выпадают, одновременно увеличивается количество кустарничков и лишайников.

Ольшанники зеленомоховые сменяют ольшанники травяные. В редком (сомкнутость полога — 0,3–0,5) кустарничковом ярусе высотой 1,5–2,5 м много отмерших кустов ольхи, встречаются ивы *Salix lanata*, *S. phylicifolia*, во втором кустарничковом ярусе высотой 0,8–1,2 м преобладает карликовая береза, изредка *Salix glauca*. В травяно-кустарничковом ярусе высотой до 40 см преобладают *Ledum palustre* (10–30%), *Vaccinium uliginosum* (10–20%), *V. vitis-idaea* (10–20%), *V. myrtilillus* (10–20%), обильны *Calamagrostis langsdorffii*, *Carex globularis*, *Empetrum nigrum*, *Equisetum palustre*, *Lycopodium annotinum*, *Pedicularis lapponica*, *Pyrola grandiflora*, *Polemonium acutiflorum*, *Rubus arcticus*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Pleurozium schreberi* (30–60%), *Hylocomium splendens* (20–40%), обильны *Aulacomnium*

turgidum (10%), *Polytrichum commune* (10–20%), *P. alpestre* (10–20%), *Cetraria islandica* (10%), *Cladonia rangiferina* (10%), *Peltigera apthosa* (10%).

С развитием мохового покрова и накоплением торфянистого слоя протаивание почвы замедляется, сезонномерзлый слой ее не протаивает в течение лета, образуются перелетки, в последующие годы талый слой почвы над перелетками промерзает полностью в течение части зимы, а затем продолжается промерзание грунта, залегающего под перелетками. Таким путем формируется вечная мерзлота на глубине 60–80 см. Формирование вечной мерзлоты способствует задержке влаги над водоупорным ее слоем, и почва здесь напитывается влагой полностью, что вызывает развитие глеевого процесса. Так под ольшанниками с покровом из зеленых мхов формируются торфянисто-глеевые почвы.

Развитие сплошного мохового покрова препятствует возобновлению ольхи, старые экземпляры ее постепенно отмирают.

Ерники зеленомоховые сменяют ольшанники. Карликовая береза вместе с ивами (*Salix geauca*, *S. lanata*, *S. phylicifolia*) образует ярус высотой 60–100 см, в котором встречается отмирающая ольха. Сомкнутость полога – 0,3–0,7.

В травяно-кустарничковом ярусе высотой до 40 см преобладают *Ledum palustre* (20–40%), *Empetrum nigrum* (10–20%), *Carex globularis* (10–20%), *Vaccinium uliginosum* (10–20%), *V. myrtilus* (10–20%), *V. vitis-idaea* (10–20%), обильны *Calamagrostis langsdorffii*, *Pedicularis lapponica*, *Rubus arcticus*, *R. chamaemorus*, *Polemonium acutiflorum*, *Lycopodium annotinum*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Pleurozium schreberi* (20–50%), *Hylacomium splendens* (10–30%), *Polytrichum commune* (10–30%), *P. alpestre* (10–20%), *Dicranum elongatum* (10–20%), обильны *Aulacomnium turgidum*, *Cetraria islandica*, *Cladonia rangiferina*, *Cl. alpestris*, *Ptilidium ciliare*, *Peltigera apthosa*, *Cetraria cucullata*.

Под сплошным моховым покровом накапливается торфянистый слой, и почва под ерниками протаивает не глубже 30–60 см, минеральные слои ее настолько насыщены влагой, что из них полностью вытесняется воздух, нисходящий ток влаги почти прекращается; это вызывает сплошное оглеение почвы.

Развитие мхов, накопление торфа угнетают рост ив и карликовой березы. С отмиранием ольхи уменьшается количество снега в ерниках что вызывает отмирание побегов карликовой березы, возвышающихся над поверхностью снега. В результате высота карликовой березы уменьшается до тех пор, пока она не попадет под защиту кустарничкового яруса. С изреживанием ерника увеличивается количество лишайников, разрастаются политриховые и дикрановые мхи.

Кустарничково-лишайниково-моховые тундры сменяют ерники зеленомоховые. В травяно-кустарничковом ярусе высотой 10–20 см на повышениях (заросших пятнах) преобладают *Ledum palustre* (10–30%), *Salix pulchra* (10–20%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–20%), обильны *Arctous alpina*, *Calamagrostis lapponica*, *Betula nana*, *Carex hyperborea*, *Empetrum nigrum*, *Eriophorum vaginatum*, *Festuca ovina*, *Hierochloë alpina*, *Pedicularis*

lapponica, *Stellaria longipes*, *Tifieldia nutans*, *Vaccinium uliginosum*, *Valeriana capitata*.

В сплошном напочвенном покрове обильны *Aulacomnium turgidum* (10–20%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. congestum* (10–20%), *D. spadiceum* (10–20%), *Polytrichum alpestre* (10–20%), *P. fragile* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Alectoris nigricans* (10%), *A. ochroleuca* (10%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10%), *Cladonia rangiferina* (10–20%), *Cl. alpestris* (10–20%), *Cornicularia divergens*, *Cl. coccifera*, *Cl. deformis*, *Cl. uncialis*, *Cl. gracilis*, *Nephroma arcticum*, *Thamnochloa vermicularis*.

В ложбинках, заросших и заполненных торфом, но заметных, в травяно-кустарничковом ярусе, преобладают *Betula nana* (10–30%), *Salix pulchra* (10–20%), обильны *S. glauca*, *Carex globularis*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*.

В сплошном напочвенном покрове обильны *Polytrichum alpestre* (10–30%), *P. commune* (10–20%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. spadiceum* (10–20%), *Aulacomnium turgidum* (10–20%), *Campthothecium trichoides* (10–30%), *Hylacomium splendens* (10–20%), *Pleurozium schreberi* (10%), *Ptilidium ciliare* (10%), *Cladonia rangiferina* (10%), *Cetraria islandica* (10%), *Peltigera apthosa* (10%). Почва – торфянисто-глеевая, пылевато-суглинистая, вечная мерзлота на глубине 30–60 см.

Полигональные пятнистые тундры в подзоне кустарничковых тундр и в северной лесотундре возникают после выгорания растительного покрова на повышениях (заросших пятнах), когда в ложбинках отрастают поврежденные пожаром травы, кустарнички, мхи и оконтуривают голые или слабозаросшие пятна. В этот короткий период создаются резкие различия в температурном и влажностном режиме почвы, в протаивании ее между пятнами и заросшими и заполненными торфянисто-моховым покровом ложбинками, а также в растительном и почвенном покрове этих участков. Полигональные пятнистые тундры в этих подзонах существуют недолго, пятна быстро зарастают и на них развиваются тундровый растительный покров и торфянисто-глеевые почвы, в целом сходные с таковыми в ложбинках. В процессе зарастания пятен сглаживаются различия в растительном и почвенном покрове, в температурном режиме и влажности почв, глубине протаивания их между пятнами и ложбинками (табл. 6).

Важным фактором создания и поддержания вторичных полигональных пятнистых тундр является выпас оленей. Олени добывают корм зимой на малоснежных местообитаниях, там где наиболее распространены пятнистые полигональные тундры. При этом олени уничтожают растительный покров на повышениях (заросших пятнах) в первую очередь, ибо зимой на них лишайники они находят легче, чем в ложбинках, занесенных снегом. Весной повышения раньше освобождаются от снега, и на них раньше начинается вегетация, поэтому олени поедают на них первую зелень весной, летом они также посещают эти участки чаще, ибо на ветрообдуваемых местах меньше комаров. Вследствие этого на местообитаниях, где распространены полигональные пятнистые тундры, происходит интенсивный выпас. При этом растительность (лишайники, травы, кустарники)

Таблица 6

Динамика растительного покрова после пожара, уничтожившего растительность на повышениях, в северной лесотундре Западной Сибири

Стадия развития растительного покрова	Толщина, см		Глубина протаивания, см	Этапы развития полигональных пятнистых тундр
	напочвенного покрова	торфянистого горизонта		
Травяно-кустарничково-лишайничково-моховые полигональные пятнистые тундры	Нет	Нет	80—110	Формирование рамковой сети растительности
	5—7	10—20	30—60	
Ольшаники травяные	Нет	Нет	Сезонномерзлый слой протаивает	Зрелостие пятен-полигонов
	Нет	5—10		
Ольшаники зеленомоховые	5—7	5—10	60—80	
	5—10	10—15	40—70	
Ерники зеленомоховые	5—10	10—15	40—70	
	5—12	15—20	30—50	
Кустарничково-лишайничково-моховые тундры	5—12	10—20	40—50	
	5—12	15—25	20—40	

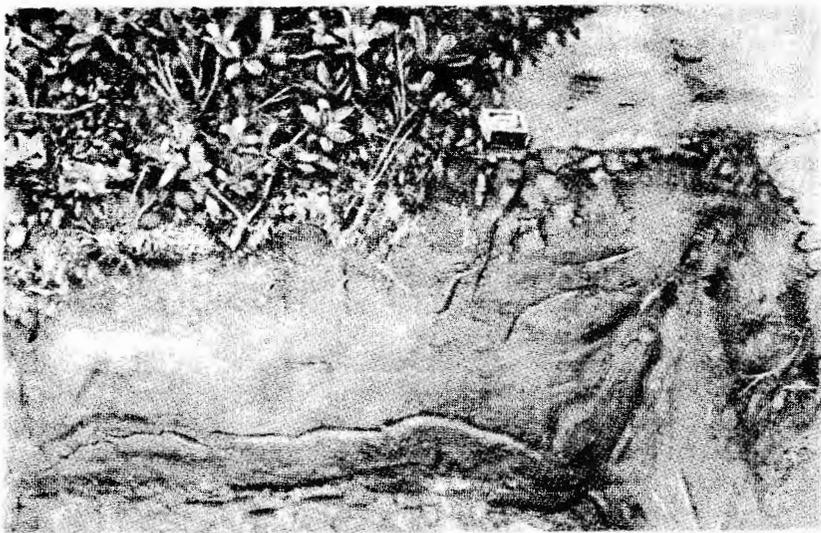
на повышениях поедаются и вытаптываются сильнее, чем в ложбинках, так как в последних господствуют непоедаемые оленями мхи, позднее сходит снег и медленнее оттаивает почва. В результате интенсивного выпаса оленей растительность на повышениях (пятнах) местами полностью поедается или выбивается, в то время как в ложбинках она повреждается значительно слабее. Постоянный выпас оленей может поддерживать полигональные пятнистые тундры неопределенно долгое время, препятствуя зарастанию пятен.

Благодаря этому чрезвычайно сильные различия в промерзании, протаивании почв под пятнами и между ними, существующие длительное время, создают специфические условия для накопления льда под пятнами. Влага, просачивающаяся вниз по мере оттаивания почвы, напитывает надмерзлотные слои, полностью вытесняя из них воздух. В процессе ее замерзания образуются кристаллы и линзы льда, разрыхляющие и расслаивающие почву. После вытаивания кристаллов и линз (в следующее лето) образуются крупные поры и трещины (рис. 8), заполненные водой. В последующие годы количество воды и льда в порах и трещинах увеличивается, так как объем пор и трещин увеличивается в каждый следующий зимний сезон, поскольку вода, заполняющая поры и трещины при замерзании, расширяет их. После оттаивания они полностью заполняются водой. Вследствие этого льдистость надмерзлотных слоев почвы под пятнами непрерывно увеличивается. Под старыми (древними) пятнами льдистость очень велика и превышает максимальную влагоемкость грунтов в два—три раза и более, объемная льдистость их нередко больше 50% (рис. 9). Под молодыми, особенно первичными пятнами объемная льдистость грунта незначительна, преобладает лед-цемент.

Под старыми пятнами почва после оттаивания характеризуется рыхлым сложением, обилием пор и трещин, количество последних увеличивается книзу. Под молодыми пятнами почва более или менее однородна по всему профилю, трещин нет, поры мелкие.

Большие различия наблюдаются в окраске почвы. Под молодыми пятнами почва — однородный серый с коричневатым оттенком и ржавыми пятнами или голубоватый суглинок пылеватый. Под старыми — темно-серый, почти черный во влажном состоянии, питанный гумусом, рыхлый, с большим количеством пор и трещин, расслоенный в горизонтальном направлении суглинок, с обилием крупных линз льда в мерзлом состоянии.

Наличие зарастающих и заросших обнаженных пятен в тундре и в лесотундре в одинаковых физико-географических условиях навело многих исследователей на мысль рассматривать пятнообразование как специфический природный процесс, закономерно повторяющийся, когда пятно, заросшее полностью, вновь возникает на том же самом месте в результате естественной деградации растительности или ее денудации [Сочава, 1930; Полинцева, Иванова, 1936; Иванова, 1962; Караваева, Полтева, 1967; Караваева, 1969; и др.]. Эта теория пятнообразования исходит из первичности растительного покрова, поэтому почвы пятен, образовавшихся на месте деградировавшей растительности, ее последователи рассматривают как остаточные [Караваева, 1969].



Р и с. 8. "Остаточная" (без торфянистого горизонта) почва пятна, возникшего после выгорания растительного покрова на повышении (бугорке)



Р и с. 9. Льдистая почва под древним пятном.

Однако в природе не наблюдается закономерной цикличности пятнообразования, ибо нет природного фактора, который бы разрушал растительный покров выборочно на заросших пятнах-повышениях (бугорках) на определенной стадии его развития. Тундровая растительность на месте заросших пятен, достигнув стадии климатического климаткса, может

неограниченно долго медленно и малозаметно развиваться, но не разрушаться. Поэтому в условиях, где нет факторов, разрушающих растительный покров (пожаров, чрезмерного выпаса оленей и т.п.), пятна остаются покрытыми растительностью неопределенно долгое время, значительно превышающее период их зарастания.

Пятна вновь возникают на старых местах только после уничтожения растительного покрова пожарами, неумеренным выпасом, и именно в этом случае наблюдается образование так называемых "остаточных" почв пятен, а затем начинается новый цикл развития растительности на них и почвообразования.

Таким образом, полигональные пятнистые тундры — наиболее распространенный тип микрорельефа среди других пятнистых тундр Арктики. Они образуются в настоящее время во всех подзонах тундры и в лесотундре.

Правильная сеть трещин, разбивающая обнаженные грунты в процессе их усыхания на полигональные отдельные, служит основой, на которой формируются полигональные пятнистые тундры.

В процессе эрозии разбитых трещинами грунтов образуются ложбинки (на месте трещин), оконтуривающие повышения-полигоны.

Полигональные пятнистые тундры образуются вследствие того, что растительность развивается в ложбинках, а повышения-полигоны остаются незаросшими или слабозаросшими, и таким путем создается рамковое распределение растительности.

В развитии полигональных пятнистых тундр выделяется два этапа: 1) формирование полигональных пятнистых тундр (рамковой сети растительности), 2) зарастание пятен-полигонов. Этим этапам соответствуют определенные стадии развития растительного покрова, разные в различных подзонах тундры и лесотундры.

Динамика растительного покрова — главнейший фактор формирования полигональных пятнистых тундр и их развития. Специфическое рамковое развитие растительности и образует характерную структуру этих тундр.

Наиболее четко выражены этапы развития пятнистых полигональных тундр в подзоне арктических тундр. В южной части зоны полярных пустынь развитие полигональных пятнистых тундр очень долго задерживается на первом этапе, и такие тундры являются здесь сообществами климаткса.

В подзоне лишайниково-моховых тундр этап формирования полигональных пятнистых тундр сильно сокращен по сравнению с подзоной арктических тундр, здесь пятна-полигоны быстро зарастают.

В подзоне кустарниковых тундр и в северной лесотундре этап формирования полигональных пятнистых тундр настолько сокращен, что такие тундры существуют эфемерно.

Различаются первичные полигональные пятнистые тундры, развивающиеся непрерывно на обнаженном субстрате с момента его зарастания, и вторичные, развивающиеся на месте прежних заросших полигональных пятнистых тундр.

2. ДИНАМИКА ПОЛИГОНАЛЬНЫХ БОЛОТ

Первичные полигональные пятнистые тундры могут существовать очень длительное время (сотни, возможно тысячи лет) только в южной части зоны полярных пустынь, в других районах (подзонах) пятна неизбежно зарастают, и такие тундры сравнительно кратковременное явление в развитии растительности на обнаженных грунтах.

Почвы пятен первичных полигональных пятнистых тундр во всех подзонах близки к материнской почвообразующей породе (примитивные почвы Ю.А. Ливеровского, 1934). Лишь в южной части зоны полярных пустынь на участках, где полигональные пятнистые тундры существуют очень долго, их почвы сильно изменяются, о чем свидетельствуют наблюдения Н.А. Караваевой [1969] на острове Б. Ляховский, где "почвенная толща пятен имеет определенные признаки почвообразования, свойственные почвам под растительностью: глубокую гумусированность, значительные запасы гумуса, большое количество органо-минеральных образований".

Вторичные полигональные пятнистые тундры возникают в результате нарушения или уничтожения растительного покрова на заросших пятнах оленями, пожарами и т.п. Они распространены от подзоны арктических тундр до северной тайги и обычно существуют недолго. Лишь на участках, где наблюдается интенсивный систематический выпас оленей, такие тундры могут существовать неопределенно долгое время. Почвы пятен вторичных полигональных пятнистых тундр очень близки к почвам под растительностью, отличаясь от них в основном отсутствием верхних органических (органогенных) горизонтов, поэтому их можно называть "остаточными" [Караваева, 1969].

Длительно существующие или многократно возникающие полигональные пятнистые тундры создают условия для накопления большого количества льда в надмерзлотных слоях почвы.

Растительность существенно влияет на физические процессы в период развития и зарастания полигональных пятнистых тундр.

Развитие растительного покрова в ложбинах в период формирования полигональных пятнистых тундр способствует дифференциации условий промерзания, протаивания, увлажнения, аэрации почв, почвообразования, а также создает условия для морозного кипения, сортировки мелкозема и т.п.

Развитие растительности на пятнах ведет к сглаживанию условий протаивания, промерзания, увлажнения грунтов, почвообразования, к замедлению и прекращению эрозии морозного кипения.

Полигональные болота — характерный тип ландшафта Арктики [Городков, 1950]. Они представляют собой сеть крупных (от 7x10 до 20x30 м) прямоугольников, разделенных трещинами или канавами, заполненными водой. Центральные части их вогнутые, заболоченные, нередко с озерками, окружены валиками шириной 1—4 м, либо плоские без валиков. Внутренние склоны валиков обычно пологие, внешние, обращенные к трещинам-канавкам, — крутые, отвесные. На дне трещин — вода, под которой залегают клиновидные льды, простирающиеся вглубь до 30 м (рис. 10).

Правильная прямоугольная форма таких болот давно обратила на себя внимание исследователей Арктики.

Они описаны еще в прошлом столетии [Фигурин, 1823; Миддендорф, 1862; Бунге, 1895; и др.]. Дальнейшими исследованиями было установлено, что полигональные болота распространены в восточно-европейской тундре [Григорьев, 1925], на севере Западной Сибири [Андреев, 1934, 1938; Городков, 1950; Пьявченко, 1955], на севере Восточной Сибири [Пархоменко, 1929; Константинова, 1956], на севере Якутии [Тыртиков, 1955; Втюрин, 1966; Катасонов, 1958; и др.], на севере Канады [Leffingwell, 1919].

Исследованиями А.А. Бунге (1895), Леффингвелла [Leffingwell, 1919] и другими было установлено, что причиной правильной сетчатости поверхности почвы является растрескивание ее при сжатии в результате сильного охлаждения после замерзания [Городков, 1950]. Процесс растрескивания мерзлых грунтов при охлаждении детально рассмотрен в работах Б.Н. Достовалова [1952, 1960].

Установленная взаимосвязь развития полигональных болот с динамикой рельефа долин рек [Гусев, 1938; Андреев, 1934, 1938] дала возможность Б.Н. Городкову [1950] выделить ряд последовательных стадий развития полигональных болот в связи с эволюцией рельефа, подтвержденных дальнейшими исследованиями в различных районах Арктики [Тыртиков, 1955; Константинова, 1956; Втюрин, 1966; и др.].

С разработки новой теории накопления мощных полигонально-жильных льдов, выдвинутой А.И. Поповым [1952, 1953], началось изучение механизма формирования этих льдов в связи с особенностями накопления осадков, режимом увлажнения грунтов, а также исследование условий образования криогенных структур, сопутствующих этим льдам [Достовалов, 1952, 1960; Шумский, 1952, 1955, 1960; Втюрин, 1966; Катасонов, 1958; и др.].



Р и с. 10. Клиновидные полигонально-жильные льды в обнажении на р. Яне

Взаимосвязь развития полигональных болот с динамикой растительного покрова изучена еще слабо, об этом свидетельствуют в частности взгляды на происхождение озер в центральных частях полигонов, высказанные еще С.Г. Пархоменко [1929], поддержанные затем Б.А. Городковым [1950], Н.И. Пьявченко [1955], а также Б.И. Втюриным [1966] и др.

ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ БОЛОТ В СВЯЗИ С ФОРМИРОВАНИЕМ ПОЛИГОНАЛЬНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ

В нашей работе рассматриваются наиболее общие закономерности развития полигональных болот в связи с динамикой растительного покрова и изменениями пойменного режима, на материалах, полученных в пределах Приморской низменности (в поймах рек Яны и Индигирки) и на севере Западной Сибири.

Полигональные болота развиваются на готовой основе — поверхности почвы, разбитой трещинами на прямоугольники. Полигональная сеть трещин вначале формируется на участках пойм рек, дельт, берегов озер, лайд, большую часть лета затопленных водой. В процессе промерзания иловатый грунт этих участков прочно цементируется льдом. После полного промерзания сезонного слоя образуется довольно однородный массив мерзлого грунта, при дальнейшем сильном охлаждении которого возникают морозобойные трещины, разбивающие его поверхность на более или менее правильные прямоугольники [Достовалов, 1952, 1960]. Морозобойные трещины проникают на глубину 2—3 м, редко больше [Попов, 1967]. В период паводка в трещины попадает вода и, замерзая

там, образует так называемые элементарные жилки льда. Летом иловатый грунт в поймах рек Яны и Индигирки, вблизи северной границы лесотундры (под 70—71° с.ш.), протаивает на 110—130 см. Неширокие (не больше 10 см) трещины по мере оттаивания грунта и льда в них заплывают, заполняются илом, и на их месте образуются слабые ложбинки. На обширных отмелях лайд и там, где наблюдается движение воды, ложбинки полностью заносятся илом и незаметны. Трещины ежегодно возобновляются на старых местах, и попадающая в них вода замерзает. Таким образом увеличивается толщина жилы льда ниже сезоннооттаивающего слоя. Верхняя поверхность вечной мерзлоты повышается ежегодно на величину, равную толщине отлагаемого наилка (или другого осадка). Верхние концы жил льда также наращиваются за счет элементарных жилок, захваченных вечной мерзлотой.

Из изложенного следует, что накопление полигонально-жильного льда в процессе замерзания воды в морозобойных трещинах возможно только там, где глубина этих трещин больше глубины сезонного протаивания грунтов. Такие глубокие трещины, разбивающие поверхность грунта на прямоугольники, возникают в районах, характеризующихся низкими температурами и малым количеством снега. Наиболее ярко морозобойное растрескивание грунтов проявляется в настоящее время в районах Арктики с резко континентальным климатом, на севере Восточной Сибири и Якутии. На севере Западной Сибири, где климат более мягкий по сравнению с климатом севера Восточной Сибири, морозобойное растрескивание грунтов наблюдается лишь на самых северных оконечностях полуостровов Ямала и Гыдана, но и здесь трещины наблюдаются на открытых ветрам участках пойм рек, дельт, лайд.

В процессе морозобойного растрескивания края полигонов приподнимаются над центральными их частями вследствие наличия изгибающих напряжений в верхних частях грунта полигонов. Эти краевые приподнятые участки и служат основой, на которой развиваются валики.

Образование валиков — весьма сложный процесс, до сих пор еще недостаточно выясненный. Многие исследователи, следуя А.А. Бунге [1903] и Леффингвеллу [Leffingwell, 1915], считают, что валики образуются в результате выпирания грунта ввѣрх при разрастании ледяных жил в стороны [Достовалов, 1952; Попов, 1967; и др.]. Несомненно, что формирование валиков и их развитие связано с морозобойным растрескиванием грунтов и с накоплением полигонально-жильного льда. Однако развитие валиков в значительной мере зависит также от особенностей промерзания и протаивания грунтов, от пойменного режима и динамики растительного покрова.

Динамика растительного покрова на полигонах не только существенно влияет на развитие валиков, но и на морозобойное растрескивание грунтов, на накопление и консервацию полигонально-жильных льдов.

В связи с динамикой растительного покрова в развитии валиковых полигональных болот выделяется два этапа.

1. Развитие растительности и формирование валиковых полигонов. По мере отложения наилка и повышения уровня поверхности поймы уменьшается период затопления, и таким путем создаются условия для посе-

ления прикрепленных растений. Они поселяются вначале на наиболее приподнятых участках полигонов — валиках, которые менее глубоко и на менее продолжительное время заливаются, чем центральные части.

Судя по тому, что валики формируются еще до поселения растительности, когда протаивание и промерзание грунтов на полигонах более или менее одинаково на всех участках, можно считать, что первичными факторами их формирования являются морозобойное растрескивание и возникающие при этом напряжения в верхних слоях грунта и, возможно, выпирание грунта при разрастании жил льда в стороны.

Растительность, развивающаяся на валиках, закрепляет их, предохраняя от размыва, и, замедляя движение воды, способствует отложению наилка.

Первыми поселенцами на валиках и поймах рек Яны и Индигирки выступают осока (*Carex aquatilis*) и пушица (*Eriophogon angustifolium*), развивающиеся вначале на гребнях их. По мере повышения уровня поверхности поймы период затопления валиков уменьшается, что создает условия для развития более разнообразной растительности.

Пушица и осока расселяются постепенно по всей поверхности валиков, образуя довольно сомкнутый травостой, среди которого обильны *Caltha palustris*, *Arctagrostis latifolia*, *Hierochloë pauciflora*, *Pedicularis capitata*, а также встречаются ивы *Salix glauca*, *S. myrtilloides*.

Центральные части полигонов затоплены водой в течение всей вегетации, и в них нет прикрепленных растений.

С накоплением наилка и повышением уровня поверхности поймы наступает момент, когда большую часть лета валики не заливаются водой, а количество отлагаемого наилка уменьшается настолько, что не препятствует развитию мхов. Это вызывает смену растительности на валиках. На гребнях валиков развиваются ивы (*Salix glauca*, *S. pulchra*, *S. reptans*) и *Betula exilis*, а также ольха *Alnus fruticosa*. Сомкнутость полога кустарников — 0,4–0,6. Встречается подрост лиственницы (*Larix dahurica*). В травостое высотой до 50 см преобладает *Carex aquatilis* (20–40%), встречаются часто *Arctagrostis latifolia*, *Calamagrostis groenlandica*, *Carex saxatilis*, *Caltha palustris*, *Comarum palustre*, *Eriophogon angustifolium*, *Hierochloë pauciflora*, *Saxifraga cernua*. В почти сплошном напочвенном покрове преобладают *Camptothecium trichoides* (30–50%), *Hylacomium splendens* (10–30%), *Pleurozium schreberi* (10–30%), часто встречаются *Drepanocladus uncinatus* (10–20%), *Sphagnum squarrosum*. Под моховым покровом формируется торфянистый горизонт.

По направлению к центральным частям полигонов растительность изменяется: ивняк граничит с осочником, где преобладает *Carex aquatilis* высотой до 50 см, покрытие — 40–60%, встречаются *Eriophogon angustifolium*, *Caltha palustris*, *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*. Между ними в воде сплошной рыхлый моховой покров, в котором преобладают *Drepanocladus revolvens*, *Scorpidium scorpioides*.

Пушицевое болото примыкает к осоковому и образует узкий пояс, граничащий со свободной водной поверхностью центральных частей полигонов. Преобладает *Eriophogon angustifolium* (30–60%) высотой до

60 см, обильны *Carex aquatilis*, *Caltha palustris*, *Menyanthes trifoliata*. В воде — те же мхи, что и в осочнике.

Развитие растительности, особенно мохового покрова, и накопление торфянистого слоя под ним, на валиках, препятствуют их размыву и заплыванию морозобойных трещин по мере оттаивания грунта. По мере повышения уровня поверхности поймы и уменьшения периода затопления валики просыхают летом. Морозобойные трещины не заплывают илом, и в них застаивается вода, под которой сохраняется лед. В период промерзания воды в трещинах образующийся лед давит на стенки трещин и отжимает грунт их в стороны валиков, поэтому стенки трещин вверху всегда отвесные. Вследствие того, что уровень воды осенью в таких трещинах между полигонами ниже гребней валиков, лед не отжимает верхние части стенок трещин и они нависают над трещинами в виде карниза. В результате в трещинах над льдом осенью образуется воздушная полость.

С развитием растительности на валиках создаются условия, способствующие неравномерному промерзанию и протаиванию грунтов. На заросших кустарниками, травами, мхами валиках накапливается рыхлый снег, предохраняющий их от быстрого промерзания. Моховой покров на валиках содержит много воздуха, поэтому он значительно слабее проводит тепло, оттекающее в период промерзания из грунта, чем лед в центральных обводненных частях полигонов и в канавках-трещинах между ними. В канавках и центральных частях полигонов снег попадает нередко в воду и тает, поэтому эти участки промерзают быстрее, чем валики. В канавках и центральных частях полигонов образуется сплошной слой льда. На валиках почва промерзает неравномерно: на более заросших и сухих участках, где развит мощный моховой покров, под снегом она промерзает медленнее, и моховой покров смерзается слабее, чем на участках более мокрых и где меньше снега. В процессе промерзания полигонов под нарастающей коркой льда и грунта возникает давление, под его напором выпучиваются наиболее слабопромерзшие участки валиков, под которые устремляется вода или пльвун (жидкий грунт); на таких участках образуются бугорки, разрывы растительного покрова, трещины, пятна обнаженного грунта. Пятна, трещины, разрывы и бугорки пучения характерны для валиков полигональных болот [Константинова, 1953; Тыртиков, 1955]. Пятна на валиках характеризуются неравномерностью распределения (так же как и бугорки). Это типичные пятна (бугорки), образовавшиеся в результате воздействия напора надмерзлотных вод или пльвуна при их промерзании в замкнутых системах (экспульсивные пятна по В.С. Говорухину, 1960).

В процессе промерзания воды в канавках-трещинах и в центральных частях полигонов намерзающий лед давит на валики, сжимая их. Следы этого давления часто заметны на внутренних частях валиков, где растительный покров резко отделен (отжат) от свободной водной поверхности, вследствие чего валики нередко принимают прямоугольные очертания.

В периоды паводков растительность валиков, замедляя течение воды, способствует отложению наилка как на валиках, так и в центральных частях полигонов.

Таким образом, растительность оказывает многостороннее влияние на формирование валиков. Создавая условия для неравномерного промерзания почв на полигонах, развитие растительности вызывает пучение грунта, образование бугров, трещин, пятен на валиках. Растительность влияет на отложение наилка.

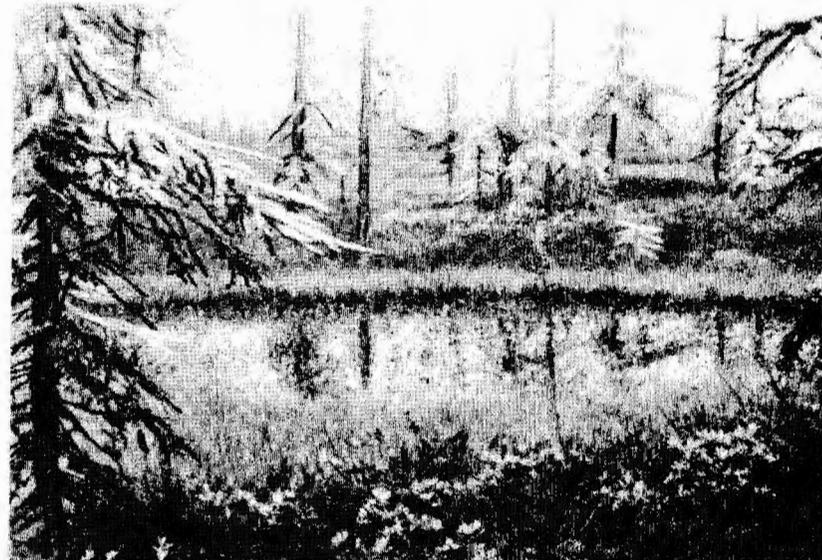
Накопление растительной массы на валиках способствует повышению их поверхности над центральными частями полигонов, особенно с развитием сплошного мхового покрова. Отмирающие нижние части мхов формируют торфянистый горизонт, и на валиках постепенно образуется торфянисто-глеевая почва. В центральных частях полигонов почвы поверхностно-глеевые.

Развитие валиковых полигонов с озерками в центральных частях наиболее ярко выражено в условиях высокой поймы.

Этап развития валиковых полигонов характеризуется не только их яркой выраженностью, но и интенсивным морозобойным растрескиванием грунтов. Полигонально-валиковые болота на этой стадии представляют в момент полного промерзания сезонноттаивающего слоя единую монолитную прочно смерзшуюся систему, ежегодно растрескивающуюся на полигональные отдельные. В морозобойные трещины весной попадает вода и, замерзая в них, образует элементарные жилки льда. В течение этого этапа на месте морозобойных трещин, заплывавших при оттаивании почвы (когда не было растительности на валиках), образуются постепенно расширяющиеся каналы с водой. Их ширина нередко значительно (в десятки раз) больше ширины морозобойных трещин. Образование таких каналов обусловлено как отжатием грунта стенок трещин при замерзании воды в канавах, так и ежегодным морозобойным растрескиванием грунтов. Отжатый и сжатый при морозобойном растрескивании грунт полигонов не расширяется в следующее лето до тех же пределов, которые он занимал в предшествующее лето. Растительность способствует закреплению ежегодного расширения каналов между полигонами. В течение этого этапа каналы между полигонами достигают наибольшей ширины.

По мере повышения поверхности полигональных болот верхняя поверхность вечномерзлого льда в канавах также повышается, и ледяные жилы нарастают фронтально вверх. Очевидно, что основная часть ледяных жил при таком способе образования будет состоять из льда, образовавшегося при замерзании воды в межполигональных канавах, а небольшая часть — из льда элементарных жилок, образовавшегося в морозобойных трещинах [Попов, 1967].

Постепенно, по мере накопления наилка, нарастания мхов и отложения торфа на валиках, поверхность полигональных болот с озерками в центральных частях повышается настолько, что они заливаются все реже и на короткий срок. Роль пойменного режима в связи с уменьшением и прекращением затопления и отложения ила в развитии полигональных болот уменьшается. В то же время усиливается развитие растительного покрова на всей поверхности полигонов и его роль в динамике полигональных болот. Это выражается в зарастании центральных частей полигонов, занятых озерками, и трещин между ними. Таким образом этап формирования валиковых полигонов сменяется новым этапом.



Р и с. 11. Лиственничное редколесье на валиках полигонов в дельте р. Яны

2. Зарастание валиковых полигонов. В течение этого этапа уровень поверхности полигональных болот повышается в основном за счет накопления торфа и нарастания мхов. При этом на валиках мхи нарастают медленнее, чем в центральных, более мокрых частях, и это приводит к выравниванию поверхности полигонально-валиковых болот.

На валиках развивается редкий лиственничный древостой высотой до 10 м, диаметры стволов — 2–20 см. Лиственницы растут только на валиках (рис. 11). В кустарниковом ярусе высотой до 60 см преобладают *Betula exilis* (до 30%), *Salix glauca* (10%), встречаются *S. reptans*, *S. pulchra*, изредка над ними возвышается ольха (*Alnus fruticosa*). Сомкнутость полога кустарников — 0,3–0,6.

В травяно-кустарничковом ярусе высотой до 30 см преобладают *Ledum decumbens* (20–30%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–30%), *V. uliginosum* (10–20%), *Empetrum nigrum* (10–20%), *Rubus chamaemorus* (10–20%), часто встречаются *Calamagrostis lapponica*, *Festuca brevifolia*, *Eriophorum vaginatum*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Pleurozium schreberi* (20–40%), *Campthothecium trichoides* (10–30%), *Aulacomnium turgidum* (10–30%), *Ptilidium ciliare* (10–30%), обильны *Aulacomnium palustre*, *Sphagnum balticum*, *Sph. acutifolium*, *Peltigera aphthosa*, *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *Stereocaulon paschale*.

Центральные части полигонов заняты вахтово-дрепаноклядусовыми болотами. Доминирует *Menyanthes frifoliata* (30–60%), в воде *Utricularia vulgaris* и рыхлый ковер мхов, состоящий в основном из *Drepanocladus revolvens*, *Scorpidium scorpioides*.

Центральные части полигонов, заросшие вахтой, окружены поясом пушицевого болота, доминируют *Eriophorum angustifolium* (30–40%) и *E. scheuchzeri* (до 20%), между ними в воде сплошной ковер мхов, преобладают *Drepanocladus revolvens*, *Scorpidium scorpioides* и другие виды рода *Drepanocladus*.

Пояс пушицевого болота окружен поясом осокового болота, преобладает *Carex aquatilis* (30–50%) вместе с *Comarum palustre* (20–30%), встречаются пушицы, а также *Caltha palustris*, *Menyanthes trifoliata*. В сплошном моховом покрове между дерновинами осок преобладают те же мхи, что и в пушицевом болоте.

Осоковые болота окружены узким поясом травяно-кустарничково-сфагнового болота. В травяно-кустарничковом ярусе высотой до 20 см преобладают *Rubus chamaemorus* (20–40%), *Andromeda polifolia* (10–20%), *Vaccinium uliginosum* (10–20%), часто встречаются *Cassandra calyculata*, *Carex limosa*, *C. rotundata*, *C. chordorryza*, *Hierochloë pauciflora*, *Oxycoccus microcarpus*, изредка ивы *Salix glauca*, *S. pulchra*, *S. reptans* высотой до 30 см. В сплошном напочвенном покрове преобладает *Sphagnum balticum* (50–70%), часто встречаются *Sph. acutifolium*, *Sph. lindbergii*, *Aulacomnium palustre*, *Camptothecium trichoides*.

Кустарничково-сфагновые болота окружены поясом кустарничково-сфагнового болота. В кустарничковом ярусе высотой до 60 см преобладают *Betula exilis* (10–30%), *Salix pulchra* (10–30%), обильны *S. glauca*, *S. reptans*, *S. myrtilloides*. В травяно-кустарничковом ярусе высотой до 30 см преобладают *Rubus chamaemorus* (20–30%), *Ledum decumbens* (10–20%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–20%), обильны *V. uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Cassandra calyculata*, *Carex limosa*, *C. rotundata*, *Eriophorum vaginatum*, *Oxycoccus microcarpus*. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum balticum* (30–60%), *Sph. acutifolium* (20–30%), *Camptothecium trichoides* (20–30%), *Aulacomnium palustre* (10–20%), часто встречаются *Cetraria islandica*, *C. cucullata*.

Заболоченный кустарник примыкает к листовничным редколесьям, расположенным на наиболее повышенных участках валиков. Валики, точнее гребни валиков, возвышаются в этот период развития полигональных болот на 60–70 см над центральными участками, занятыми вахтово-дрепаноклядусовыми болотами. Растительный покров достигает наибольшего разнообразия: от сухих редколесий на гребнях валиков до водных вахтовых сообществ в центральных частях. Большие различия наблюдаются и в протаивании почвы. Торфянисто-глеевые почвы протаивают на гребнях валиков на 30–50 см, под вахтово-дрепаноклядусовыми болотами в центрах полигонов — на 90–130 см (табл. 7).

Верхняя поверхность вечной мерзлоты расположена в трещинах-канавках между полигонами на глубине 70–80 см, на гребнях валиков — на 30–50 см, т.е. на 20–50 см выше. По направлению к центрам полигонов верхняя поверхность вечной мерзлоты понижается, и в центральных частях их под мелкими водоемами, зарастающими вахтой, она располагается на 100–150 см ниже, чем на гребнях валиков. Существенные различия в глубине протаивания почвы и в глубине залегания вечной мерзлоты между центральными частями валиковых полигонов и межполигональ-

Таблица 7

Глубина протаивания почвы на различных участках полигонально-валиковых болот в дельте р. Яны

Места замеров	Растительность	Глубина протаивания, см
Трещины с водой, межполигональные	Нет	70–80
Гребни валиков	Лиственничные редколесья	30–50
Верхняя часть склонов валиков	Кустарничково-сфагновые болота	40–50
Средняя часть склонов валиков	Травяно-кустарничково-сфагновые болота	50–60
Нижняя часть валиков	Осоковое болото	50–70
Переходы от валиков к центрам полигонов	Пушицевые болота	70–80
Центры полигонов	Вахтово-дрепаноклядусовые болота	90–130

ными канавами с водой объясняются тем, что в межполигональных канавах поверхность воды при замерзании расположена ниже гребней валиков и лед отжимает грунт нижних частей стенок трещин-каналов, а верхние части, скрепленные дерном, торфяно-моховым слоем, корнями, нависают в виде карниза над поверхностью льда, затрудняя его протаивание.

Наибольшая глубина протаивания грунтов под озерами в центрах валиковых полигонов считалась существенным доказательством их термокарстового происхождения [Втюрин, 1966]. Однако эти озера — прямое следствие образования валиков, препятствующих стоку воды из центральных частей полигонов. Поясное распределение растительности сообществ вокруг них и явные следы наступления растительности от валиков к центрам затопленных полигонов свидетельствуют о зарастании центральных частей, а не о термокарсте. Никаких следов термокарста в пределах валиковых полигонов не обнаруживается. Эти озера неизбежно зарастают.

С развитием сплошного мохового покрова и накоплением торфа, а также с развитием кустарников и кустарничков на валиках полигонов, способствующих накоплению рыхлого снега, промерзание и охлаждение грунтов ослабляются. Важнейшее следствие этого — уменьшение перепада температуры грунтов с глубиной, следствием чего является затухание и прекращение морозобойного растрескивания грунтов. Канавы между полигонами постепенно заполняются растительными остатками и зарастают.

В центральных частях полигонов торф накапливается быстрее, чем на более сухих склонах валиков. На гребнях валиков торф не накапливается совсем, так как здесь преобладают печеночники и лишайники в напочвенном покрове.

По мере накопления торфа в центральных частях полигонов и обмеления озерков, заросших вахтой, создаются условия для поселения пушиц и осок.

Пушицево-дрепаноклядусовые болота сменяют вахтово-дрепаноклядусовые. В их травостое преобладает *Eriophorum angustifolium* (20–40%), обильны *E. scheuchzeri*, *Menyanthes trifoliata*, *Carex aquatilis*, *C. chordorruza*, *Comarum palustre*.

В сплошном моховом покрове между дерновинами пушиц и осок преобладают *Drepanocladus revolvens* (50–70%), *Scorpidium scorpioides* (20–30%), на дерновинах — сфагновые мхи *Sphagnum balticum*, *Sph. obtusum*, *Sph. squarrosum*, *Sph. lindbergii*.

Пушицево-дрепаноклядусовые болота окружены поясом осокового болота, граничащего с кустарничково-сфагновыми болотами. Кустарничково-сфагновые болота окружены кустарничково-сфагновыми болотами на верхних частях склонов валиков. Верхние части валиков заняты лиственничными редколесьями.

В дальнейшем наблюдается постепенное выпадение сообществ центральных частей полигонов, связанное с заполнением их торфом, обмелением водоемов и ухудшением минерального питания растений. По мере накопления торфа в центральных частях полигонов уменьшается глубина протаивания почвы, нижние минеральные горизонты ее становятся вечномерзлыми, недоступными для корней. Питательные вещества, заключенные в торфе, также не могут использоваться растениями вследствие очень медленного разложения торфа в этих суровых условиях климата. Все это влечет смену гипновых мхов сфагновыми олиготрофными мхами.

Осоково-сфагновые болота сменяют пушицево-дрепаноклядусовые и осоково-дрепаноклядусовые болота в центральных частях полигонов. В травостое их преобладают мелкие осоки: *Carex limosa*, *C. rotundata*, *C. chordorruza*, общее покрытие их не больше 20%. Эти болота характеризуются обилием подушек сфагновых мхов, образованных *Sphagnum balticum*, *Sph. acutifolium*, *Sph. angustifolium*, *Sph. russowii*, *Sph. obtusum* (рис. 12), между подушками в западинках господствует *Campthothecium trichoides*. На подушках обильны *Rubus chamaemorus*, *Andromeda polifolia*, встречается часто *Hierochloë pauciflora*, в западинках — *Carex aquatilis*, *Comarum palustre*, *Eriophorum angustifolium*, *E. scheuchzeri*.

Постепенно сфагновые мхи полностью заполняют центральные части полигонов, где осоково-сфагновые болота сменяются кустарничково-морошково-сфагновыми болотами. В травяно-кустарничковом ярусе этих болот преобладают *Rubus chamaemorus* (30–60%), *Oxycoccus microcarpus* (10%), *Andromeda polifolia* (10%), часто встречаются *Cassandra calyculata*, *Salix myrtilloides*, изредка *Betula exilis*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium uliginosum*, подрост лиственницы и ольхи, хотя и сильно угнетенный. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum balticum*, *Sph. acutifolium*, часто встречаются *Sph. russowii*, *Sph. obtusum*. В этот период центральные части полигонов лишь на 10–20 см ниже возвышающихся над ними валиков, а вечная мерзлота залегает на валиках и в центральных частях полигонов на глубине 25–50 см от поверхности мха. Почва повсюду торфяно-глеевая.



Рис. 12. Подушки сфагновых мхов в центральной части полигона в дельте р. Яны

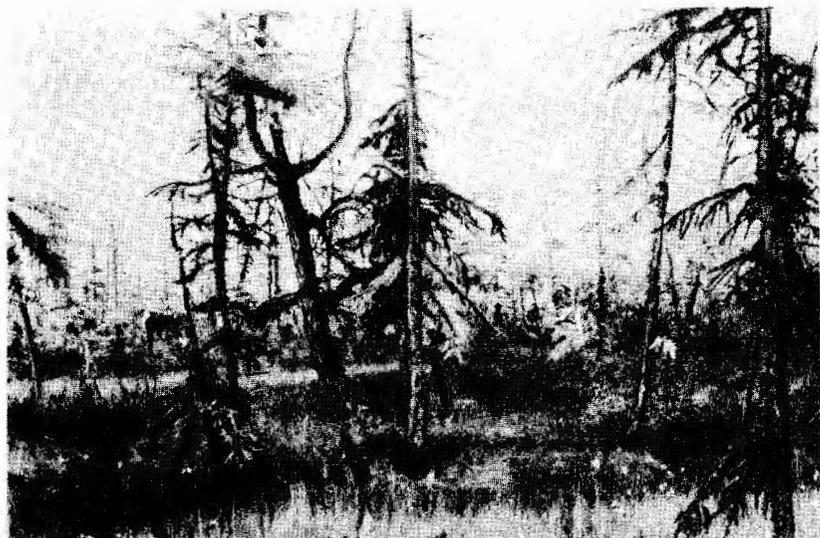
В дальнейшем сфагновые мхи полностью заполняют центральные части полигонов и наступают на валики. В это же время в центральных частях полигонов развивается сильно угнетенный подрост лиственницы.

Редколесья на сфагновых болотах развиваются, таким образом, на всей поверхности полигонов. Полигональная сеть едва обозначается ложбинками над бывшими трещинами-канавами, затянутыми полностью сфагновыми мхами, а также кочковатостью на месте валиков. Эти редколесья (рис. 13) характеризуются крайней угнетенностью древостоя. Лиственницы отмирают, на ветвях их больше лишайников, чем хвой, большинство ветвей — сухие, высота их 1,5–5,0 м, диаметр стволов — 2–20 см, сомкнутость крон — 0,1–0,2. Много мертвых деревьев, подрост редкий, крайне угнетен. В подлеске встречаются сильно угнетенная ольха высотой до 1 м, а также *Betula exilis*, *Salix glauca*, *S. pulchra*.

В травяно-кустарничковом ярусе высотой до 20 см преобладают *Rubus chamaemorus* (30–60%), *Ledum palustre* (10–20%), обильны *Eriophorum vaginatum*, *Oxycoccus microcarpus*, *Vaccinium vitis-idaea*, часто встречаются *V. uliginosum*, *Andromeda polifolia*, *Cassandra calyculata*, *Smilacina trifoliata*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum balticum* (30–50%), *Sph. acutifolium* (20–40%), часто встречаются *Aulacomnium palustre*, *A. turgidum*, *Campthothecium trichoides*, *Ptilidium ciliare*, *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *Cladonia rangiferina*, *Cl. gracilis*. Вечномерзлый торф залегает на глубине 25–40 см.

С накоплением сфагнового торфа поверхность заросших полигонов постепенно повышается над уровнем высокой поймы и не заливадается полыми водами. Это вызывает обеднение почвы, изреживание и отмирание древостоя. Сфагновые мхи по мере отмирания древостоя и изре-



Р и с. 13. Отмирающий древостой на погребенных сфагнами полигонах в дельте р. Яны

живания кустарников и кустарничков также постепенно сменяются печеночниками, дикрановыми, политриховыми мхами и лишайниками. Разложение торфа грибами вызывает некоторое улучшение минерального питания растений, что способствует разрастанию карликовой березы.

Ерниковые тундры сменяют таким путем лиственничные редколесья на сфагновых болотах. В кустарниковом ярусе высотой до 40 см доминирует *Betula exilis* (30–50%), встречаются *Salix glauca*, *S. myrtilloides*, *S. pulchra*.

В травяно-кустарничковом ярусе преобладает *Ledum palustre* (20–30%), часто встречаются *Andromeda polifolia*, *Cassandra calyculata*, *Eriophorum vaginatum*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*.

В напочвенном покрове преобладают *Ptilidium ciliare* (20–50%), *Dicranum elongatum* (10–20%), *D. spadiceum* (10–20%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *Peltigera aphthosa* (10–20%), *Polypodium alpinum* (10–20%), *P. alpestre* (10%), *Aulacomnium turgidum* (10–20%), обильны *Hylocomium splendens*, *Camptothecium trichoides*, *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum balticum*, *Sph. acutifolium*. Торфяная почва под ерниковыми тундрами протаивает на 25–40 см.

На таких участках не заметно никаких следов полигональной сети. Однако при раскопках обнаруживаются сетчатые полигонально-жильные льды.

Таким образом, ерниковыми тундрами завершается развитие растительного покрова на полигонально-валиковых болотах в дельте р. Яны. В процессе зарастания таких болот уменьшается глубина протаивания почвы над жилами льда и в центральных частях полигонов (табл. 8),

ослабляется, а затем прекращается морозобойное растрескивание грунтов и рост жил льда. Полигональные жильные льды надежно консервируются торфом и растительным покровом.

С понижением базиса эрозии поймы становится надпойменной террасой. Полигонально-жильные льды в отложениях надпойменных террас сохраняются под растительным покровом и торфом в течение многих тысяч и десятков тысяч лет.

Следовательно, развитие растительного покрова существенно влияет на процессы морозобойного растрескивания грунтов, на накопление и консервацию полигонально-жильных льдов.

Морозобойное растрескивание грунтов и накопление полигонально-жильного льда формируют полигональный микрорельеф и создают разнообразные местообитания для растительности, способствуя комплексности растительного покрова. Неравномерное развитие растительного покрова — одна из главных причин неравномерного промерзания и протаивания почв на различных участках полигонов — существенно влияет на развитие валиков — образование на поверхности их пятен, бугорков, трещин и т.п.

Итак, полигонально-валиковые болота формируются на основе, созданной мерзлотными процессами — морозобойным растрескиванием грунтов, накоплением полигонально-жильных льдов. Безваликовые полигональные болота являются одним из этапов зарастания валиковых полигональных болот. Озерки центральных частей полигонов — результат формирования валиков, они неизбежно зарастают.

Таблица 8

Изменение глубины протаивания грунтов в процессе смен растительного покрова при зарастании водоемов в центральных частях полигонов и в межполигональных канавах в дельте р. Яны

Стадия развития	Глубина протаивания, см	Стадии развития	Глубина протаивания, см
Центральные части полигонов		Межполигональные каналы	
Открытый водоем	110–130	Полузакрытый водоем	70–80
Вахтово-дрепаноклядусовое болото	90–130	Дрепаноклядусовое болото	50–60
Пушицево-дрепаноклядусовое болото	70–90	Осоково-сфагновые и пушицево-сфагновые болота	40–50
Осоково-сфагновое болото	50–70		
Кустарничково-сфагновые болота	40–50	Кустарничково-сфагновые болота	30–40
Лиственничные редколесья на сфагновом болоте	25–40	Ерниковая тундра	20–30
Ерниковая тундра	25–40		

Полигонально-жильные льды, погребенные в торфе и минеральных грунтах, широко распространены в области вечной мерзлоты, особенно на севере Советского Союза, Канады и Аляски. Они залегают преимущественно в древних аллювиальных отложениях и торфяниках.

Разрушение (смыв, оползни и т.п.) грунтов, прикрывающих полигонально-жильные льды, создает условия для вытаявания их. Вытаивание полигонально-жильных льдов сопровождается формированием специфических форм рельефа, среди которых весьма характерны полигональные болота.

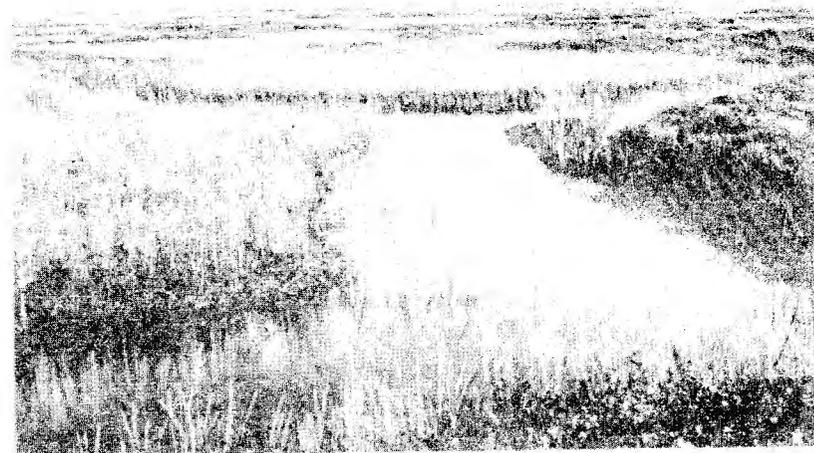
ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ БОЛОТ ПОСЛЕ ВЫТАИВАНИЯ ПОЛИГОНАЛЬНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ В ТОРФЯНИКАХ

В тундре и лесотундре Западной Сибири большую площадь занимают древние торфяники, в которых погребены полигонально-жильные льды. Эти льды сформировались в более суровых климатических условиях по сравнению с современными. В настоящее время местами наблюдается вытаивание полигонально-жильных льдов, заключенных в торфяниках. Обычно вытаивание их начинается после нарушения или уничтожения торфяного слоя, прикрывающего жилы льда. Чаще всего нарушение или уничтожение растительного покрова и торфа над жилами льда вызывается пожарами торфяников, отчасти оленями и вездеходами. После полного или частичного уничтожения торфа над жилами льда верхние части жил начинают протаивать. Процесс протаивания жил сопровождается просадкой грунта, поэтому над жилами образуются ложбинки, наполняющиеся водой, которая способствует более глубокому протаиванию жильного льда и увеличению просадки грунта над жилами. Так постепенно на месте жил льда формируются канавы с водой. Ширина канав достигает 100 см и больше, на перекрестках канав образуются более широкие водоемы (рис. 14).

В ячейках между канавами с водой просадки торфяника не наблюдается, ибо торф, даже обнаженный, не протаивает глубже 60 см, и протаивающий за лето слой его ежегодно промерзает полностью. Так образуются плоские торфяные бугры, разделенные канавами с водой. Они характеризуются правильным распределением (как клетки на шахматной доске) и одинаковыми размерами по площади, соответствующими размерам древних полигонально-валиковых болот.

На плоских поверхностях древних террас канавы между плоскими торфяными буграми бессточные, полностью заполнены водой. Это создает благоприятные условия для формирования валиков по краям плоских торфяных площадок-полигонов (рис. 15).

При замерзании воды в канавах лед отжимает и несколько приподнимает края плоских полигонов. Приподнятые края препятствуют стоку воды из центральных частей полигонов. Вследствие этого создаются различные условия для развития растительности на краях и в центрах плоских полигонов. Менее влаголюбивая растительность развивается на приподнятых краях полигонов. Вследствие того, что высота этих повышенных краевых участков полигонов неодинакова, растительность



Р и с. 14. Канавы с водой на месте вытаявших жил льда на юге Гыланского полуострова



Р и с. 15. Водоем на перекрестке протаявших жил льда, валики валиков канав. Гыланский полуостров



Р и с. 16. Полигонально-валиковые болота, возникшие после вытаивания жил льда в торфяниках. Гыданский полуостров

на них неоднородна. Неоднородность растительного покрова и рельефа этих участков вызывает неравномерное их промерзание. Более повышенные и сухие участки, сложенные торфом, содержащим много воздуха, промерзают медленнее из-за их слабой теплопроводности и слабее смерзаются, чем пониженные, влажные. Осенью вода в канавах, сжимаемая сверху при намерзании льда, устремляется в непромерзшие, неполностью напитанные водой участки торфа окраин полигонов и вспучивает наиболее слабо смерзшиеся места, образуя здесь бугры, либо разрывает мерзлую корку торфа, в результате чего формируются трещины, пятна голого торфа, разрывы торфяно-мохового слоя.

Таким путем образуются валики на торфяных полигонах, окруженных канавами с водой. Валики характеризуются наличием невысоких (до 30 см) бугорков, в ядре которых нередко залегают линзы льда, пятен голого торфа, трещин, разрывов растительного покрова (рис. 16). Валики препятствуют стоку воды с центральных частей полигонов, и они заболачиваются. В центрах полигонов развивается водно-болотная растительность, а на наиболее повышенных сухих участках валиков — тундровая.

Поясное распределение растительности характерно и для таких полигонально-валиковых болот. На юге Гыданского полуострова на горизонтальной поверхности третьей террасы (казанцевская равнина) наблюдается следующее распределение растительности на полигонально-валиковых болотах.

Пушицевые болота развиты в самых глубоких полигонах, занимают центральные части их. Господствует *Eriophorum angustifolium* (20–40%) высотой до 40 см, часто встречаются *E. russeolum*, *Carex chordorhyza*, в воде рыхлый ковер из различных видов рода *Drepanocladus*, часто *Sphagnum squarrosum*.

Осоково-сфагновые болота образуют узкий пояс вокруг пушицевых болот либо занимают центральные части менее глубоких полигонов. В травостое высотой до 20 см (покрытие не более 30%) преобладают *Carex*

limosa (10–20%), *C. chordorhyza* (10%), *C. rotundata*, часто встречаются *Eriophorum angustifolium*, *E. russeolum*, *E. scheuchzeri*, изредка *Andromeda polifolia*, *Rubus chamaemorus*. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum balticum* (20–30%), *Sph. lindbergii* (30–60%), *Sph. squarrosum* (30–50%).

Морошково-сфагновые болота образуют пояс вокруг осоково-сфагновых болот. В травяно-кустарничковом ярусе высотой 5–15 см господствует *Rubus chamaemorus* (20–40%), обильны *Andromeda polifolia*, *Carex limosa*, *Oxycoccus microcarpus*, изредка встречаются *Betula nana*, *Ledum palustre*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum balticum* (20–30%), *Sph. angustifolium* (20–40%), *Sph. fuscum* (20–40%), *Sp. compactum* (10–20%), *Sph. fimbriatum* (10–30%).

Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры, характеризующиеся мозаичностью растительности, развиваются на валиках. Валики возвышаются не более чем на 30 см над центральными частями полигонов. Они представляют собой полосы кочек, образованных дикрановыми и политриховыми мхами, бугорков высотой до 30 см, покрытых лишайниками. Между бугорками и кочками развит моховой покров из сфагновых и тундровых мхов, встречаются трещины, разрывы растительного покрова, в которых обнажается сильно разложившийся торф, пятна голого торфа шириной до 1 м. Эти полосы, расширяясь в одних местах до 4–5 м, сужаются в других до нескольких десятков сантиметров и даже прерываются.

В травяно-кустарничковом ярусе высотой 5–20 см (покрытие — 20–50%) преобладают *Ledum palustre* (10–20%), *Vaccinium vitis-idaea* (10–20%), *V. uliginosum* (10%), *Rubus chamaemorus* (10–20%), *Empetrum nigrum* (10%), часто встречаются *Andromeda polifolia*, *Betula nana*, *Carex hyperborea*, *Eriophorum scheuchzeri*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Alectoria ochroleuca* (10–20%), *A. nigricans* (10–20%), *Cetraria cucullata* (10–20%), *C. islandica* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Thamnotia vermicularis* (10–20%), *Dicranum congestum* (10–20%), *D. elongatum* (10–20%), *Polytrichum alpinum* (10–20%), *P. fragile* (10–20%), *P. alpestre* (10–20%), часто встречаются *Cetraria nivalis*, *Cladonia coccifera*, *Cl. deformis*, *Cl. rangiferina*, *Cl. uncialis*, *Dactylina arctica*, *Nephroma arcticum*, *Peltigera aphthosa*, *Sphagnum angustifolium*, *Sph. fuscum*.

Такие полигонально-валиковые болота обычно окружены канавами заполненными, водой ширина канав нередко превышает 1 м.

Таким образом, на полигонально-валиковых болотах, возникших на плоских торфяных полигонах после вытаивания полигонально-жильного льда и образования на его месте канав с водой, наблюдается поясность растительного покрова, сходная в общих чертах с таковой полигонально-валиковых болот, возникших в результате морозобойного растрескивания грунтов и накопления полигонально-жильных льдов.

Полигонально-валиковые болота, возникшие между термокарстовыми канавами с водой, можно назвать вторичными, в противоположность ранее охарактеризованному первичным.

Таблица 9

Глубина протаивания грунтов на различных участках полигонально-валиковых болот, разделенных канавами с водой на юге Гыданского полуострова

Места замеров	Растительность	Глубина протаивания, см
Канавы с водой	Нет	110—130
Озерки на перекрестках канав	Нет	130—160
Валики полигонов	Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры	30—50
Нижние внутренние участки валиков	Морошково-сфагновые болота	30—40
	Осоково-сфагновые болота	40—60
Центры полигонов	Пушицевые болота	70—90

Для вторичных валиковых полигонов характерно своеобразное залегание вечной мерзлоты. Наиболее глубоко она залегает в открытых канавах с водой, особенно на перекрестках канав, где образуются озерки (см. рис. 14, табл. 9). Не наблюдается резких различий в глубине протаивания почв между валиками и центральными частями, занятыми мелкими зарастающими водоемами, что связано с тем, что валики и растительность их в открытой тундре не способствует значительной задержке снега в центрах полигонов, поэтому грунты быстро промерзают и сильно охлаждаются, вследствие чего медленно оттаивают летом.

Существование и развитие полигонально-валиковых болот вторичных зависит от канав, заполненных водой. Они существуют до тех пор, пока есть канавы с водой, ограничивающие эти болота. Однако канавы постепенно заполняются торфом и зарастают. Торф попадает в канавы с окраин торфяных полигонов. Когда глубина воды в канавах достигает 50—60 см, в них поселяется пушица (*Eriophorum angustifolium*), вначале по окраинам канав, местами вместе с осокой (*Carex aquatilis*), и иногда *Arctophila fulva*.

Пушицево-дрепаноклядусовые болота развиваются в канавах. Они окружены узкой (20—30 см) лентой осокового болота (преобладает *Carex aquatilis*) по окраинам канав. Богатые элементами минерального питания растений и органическими соединениями, хорошо прогреваемые мелкие водоемы в канавах быстро заполняются гипновыми мхами (преобладают *Drepanocladus fluitans*, *D. revolvens*).

Заполнение канав торфом, мхами и, следовательно, их обмеление создают условия для смены гипновых мхов сфагновыми.

Пушицево-сфагновые болота сменяют пушицево-гипновые. В редком (покрытие не более 3%) травостое высотой до 30 см преобладают *Eriophorum russeolum*, *E. angustifolium*, обильны *E. scheuchzeri*, *Carex aquatilis*. В рыхлом сплошном сфагновом ковре господствуют *Sphagnum squarrosum*, *Sph. lindbergii*.

Поверхность таких пушицево-сфагновых болот не все лето покрыта водой, глубина протаивания почвы значительно меньше (60—70 см) чем в канавах с водой без растительности. Это свидетельствует об ослаблении прогревания почвы под этими болотами, а следовательно, и об ослаблении разложения торфа и обеднении ее элементами минерального питания растений. Ухудшение питательных качеств почвы вызывает смену олиготрофных сфагновых мхов олиготрофными, и пушицы соответственно сменяются осоками.

Осоково-сфагновые болота сменяют пушицево-сфагновые. В редком (покрытие — 10—20%), травостое высотой до 20 см преобладают *Carex rotundata*, *C. limosa*, изредка *C. chordorrhiza*, *Eriophorum scheuchzeri*, *E. russeolum*. В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum balticum*, *Sph. lindbergii*, *Sph. angustifolium*, *Sph. fimbriatum*. На повышенных, подушках сфагнов таких болот поселяются кустарнички, осоки и пушицы постепенно выпадают.

Травяно-кустарничково-сфагновые болота сменяют осоково-сфагновые. В травяно-кустарничковом ярусе высотой 5—15 см (покрытие — 30—50%) преобладают *Ledum palustre* (10—20%), *Rubus chamaemorus* (20—30%), часто встречаются *Andromeda polifolia*, *Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, изредка *Carex rotundata*, *C. hyperborea*, *Eriophorum nigrum*, *Oxycoccus microcarpus*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum angustifolium*, *Sph. lenense*, обильны *Sph. balticum*, *Aulacomnium turgidum*, *Platanum elongatum*, *D. spadiceum*, *Kiaeria glacialis*, *Cetraria cuculata*, *C. islandica*, *Peltigera aphthosa*, *Thamnia vermicularis*.

Торф на травяно-кустарничково-сфагновых болота в заросших канавах протаивает всего на 30—40 см.

Промерзание неглубоко протаивающего рыхлого сфагнового торфа в канавах, где уже нет воды на поверхности, не сопровождается образованием бугров, пятен и трещин на валиках.

По мере зарастания канав уменьшаются их глубина и количество воды на поверхности болот в них, в связи с этим ослабевает отжатие торфа по берегам канав. Когда канавы заполнятся торфом и мхами настолько, что поверхность их уже не будет покрываться водой в период промерзания, прекратится отжатие торфа по берегам.

Поскольку отжатие торфа и образование бугорков по краям валиков прекращаются после зарастания канав, начинается деградация валиков и выравнивание поверхности полигонально-валиковых болот вследствие того, что мхи в центрах полигонов и в канавах растут быстрее, чем на повышенных, более сухих участках валиков.

Пушицево-сфагновые болота в центрах полигонов сменяют пушицевые болота. В редком травостое преобладают *Eriophorum russeolum*, *E. scheuchzeri*, часто встречаются *E. angustifolium*, *Carex chordorrhiza*. В сплошном моховом покрове преобладают *Sphagnum obtusum*, *Sph. squarrosum*, *Sph. lindbergii*.

По мере накопления торфа и повышения поверхности центральных частей полигонов изменяются условия обитания растений, пушицы сменяются осоками.

Осоково-сфагновые болота сменяют пушицево-сфагновые. В редком (покрытие — 10–20%) травостое высотой 10–20 см преобладают *Carex rotundata*, *C. limosa*, часто встречаются *C. chordorrhiza*, *Eriophorum scheuchzeri*, изредка *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus microcarpus*, *Rubus chamaemorus*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Sphagnum lindbergii*, *Sph. balticum*, *Sph. fimbriatum*.

На повышениях, подушках сфагновых мхов поселяются кустарнички, разрастается морошка.

Травяно-кустарничково-сфагновые болота сменяют осоково-сфагновые. По составу трав, кустарничков, кустарников, мхов и лишайников эти болота мало отличаются от подобных же болот, охарактеризованных при описании процесса зарастания межполигональных канав (см с. 75).

Поверхность травяно-кустарничково-сфагновых болот в центрах полигонов всего на 10–15 см ниже наиболее повышенных участков валиков. Валики полигонов, не возобновляемые отжатием и пучением торфа, постепенно зарастают, и в период развития травяно-кустарничково-сфагновых болот на многих участках поверхность их выравнивается и находится на одном уровне с поверхностью центральных частей полигонов. Валики уже не образуют сплошного бордюра, окаймляющего полигоны.

По мере выравнивания поверхности полигонов уменьшается количество снега в центральных частях их и в канавках. Поверхность их становится суше, меньше задерживает снеговую и дождевую воду, летом часто сильно высыхает. Все это влечет смену сфагновых мхов дикрановыми, политриховыми и другими мхами и лишайниками.

Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры развиваются на поверхности торфяников. В травяно-кустарничковом ярусе высотой 5–20 см преобладают *Ledum palustre* (10%), *Empetrum nigrum* (10%), *Rubus chamaemorus* (10–20%), *Eriophorum vaginatum* (10%), *Vaccinium uliginosum* (10%), *V. vitis-idaea* (10%), обильны *Andromeda polifolia*, *Betula nana*, *Carex hyperborea*.

В сплошном напочвенном покрове преобладают *Alectoria ochroleuca* (10%), *A. nigricans* (10%), *Cetraria cucullata* (10%), *C. islandica* (10–20%), *Cladonia gracilis* (10–20%), *Cl. rangiferina* (10–20%), *Thamnia vermicularis* (10–20%), *Polytrichum juniperinum* (10–20%), *P. alpestre* (10–20%), *Dicranum congestum* (10–20%), *D. elongatum* (10–20%), *Kiaeria glacialis* (10–20%), *Ptilidium ciliare* (10–20%), *Sphagnum angustifolium* (10–20%), *Sph. lenense* (10–20%), часто встречаются *Cladonia coccifera*, *Cl. deformis*, *Cl. uncialis*, *Cetraria nivalis*, *Dactylina arctica*, *Aulacomnium turgidum*, *Camptothecium trichoides*.

Торф на торфяниках, покрытых травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами, протаивает на 30–40 см.

Таким путем на месте полигонально-валиковых болот, расчлененных канавами с водой, образуются плоские торфяники, покрытые тундровой растительностью. На этих торфяниках долго остаются ложбинки, образовавшиеся на месте заросших канав. Постепенно они выравниваются благодаря растительному покрову.

На одном и том же торфяном массиве вытаивание полигонально-жильных льдов наблюдается в разное время на различных участках, поэтому можно по наличию полигональных болот, полигональных форм микрорельефа поверхности торфяника судить о наличии полигонально-жильных льдов или о существовании их в прошлом.

Таким образом, полигонально-валиковые болота, разделенные канавами с водой, формируются не только на участках, где происходит морозобойное растрескивание грунтов и накапливается полигонально-жильный лед, но и там, где этот лед вытаял и никаких морозобойных трещин нет. Подобные полигонально-валиковые болота на участках деградирующих торфяников, где наблюдается термокарст по полигонально-жильным льдам, широко распространены на севере Западной Сибири, особенно в лесотундре и южной тундре.

Процесс образования вторичных полигонально-валиковых болот с озерками в центрах также свидетельствует, что эти озерки имеют не термокарстовое происхождение, а возникают в результате того, что образуются валики, которые препятствуют стоку воды из центральных частей полигонов.

Поясное распределение растительности вокруг центров полигонов и их зарастание мхами и заполнение торфом при этом также служат доказательством не термокарстового происхождения этих озерков. При зарастании центральных частей полигонально-валиковых болот тундровая растительность, продвигаясь от валиков к центрам полигонов, вытесняет болотную. При этом уменьшается глубина протаивания торфа и понижается температура грунтов (табл. 10), соответственно повышается верхняя поверхность вечной мерзлоты.

Охарактеризованная последовательность смен растительности в ходе зарастания центральных частей полигонов подтверждается наличием полигонов, центральные части которых покрыты пушицевыми, пушицево-сфагновыми, осоково-сфагновыми и другими болотами и тундрами, представляющими собой последовательные стадии зарастания, а также составом торфа в центральных частях зарастающих и заросших полигонов.

Так, например, в окрестностях пос. Аптипаюта на III террасе на плоском полигоне, покрытом травяно-кустарничковой мохово-лишайниковой тундрой, для которой характерно обилие сфагновых мхов, свидетельствующее, что смена болотной растительности в центре полигона еще не полностью завершена, наблюдалось следующее строение верхней части торфяника:

0–5 см — покров из сфагновых, дикрановых, политриховых мхов и лишайников с обилием погребенных побегов кустарничков, кустарников и корней;

5–35 см — рыхлый светлый сфагновый торф, почти неразложившийся, состоящий в основном из *Sphagnum balticum*, *Sph. fuscum*, *Sph. angustifolium* с цельными листьями и побегами трав, кустарничков, кустарников и корнями;

35–60 см — мерзлый сфагновый торф, рыхлый, слаборазложившийся, состоящий в основном из *Sphagnum squarrosum*, *Sph. lindbergii*, *Sph. fimbriatum* с корнями, побегами осок и пушиц.

Таблица 10

Изменения глубины протаивания и температуры торфа в процессе зарастания центральных частей полигонов в окрестностях пос. Антипаюта (Гыданский полуостров)

Стадия развития	Глубина протаивания, см	Температура на глубине 3 м (12.VIII 1967)
Пушицевые болота	70—90	-1,8
Пушицево-сфагновые болота	60—80	-1,8
Осоково-сфагновые болота	50—70	-2,9
Травяно-кустарничково-сфагновые болота	30—50	-3,1
Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры	30—50	-3,7

60—75 см — мерзлый слаборазложившийся, рыхлый торф, состоящий в основном из видов рода *Drepanocladus* с остатками листьев, побегов, корней пушиц, осок;

75—100 см и глубже — мерзлый сильноразложившийся коричневый мажущийся торф, без видимых остатков растений.

На основании такого строения верхней части торфяника можно сделать вывод о том, что длительный процесс разложения торфа сменился кратковременным накоплением его.

В редколесьях северной лесотундры Западной Сибири ежегодно откладывается слой рыхлого неразложившегося торфа толщиной 0,6 см, под покровом из *Sphagnum girgensohnii* [Тыртиков, 1974]. В редколесьях восточно-европейской лесотундры линейный прирост *Sphagnum angustifolium*, *Sph. fuscum* достигает 1,65 см в год [Солоневич, 1970]. Сфагновые мхи более обводненных местообитаний (*Sph. squarrosum*, *Sph. lindbergii*) и, вероятно, виды рода *Drepanocladus* нарастают быстрее, чем сфагновые мхи редколесий. Так, по данным Н.Г. Солоневич [1970], линейный прирост *Sph. lindbergii* в осоково-сфагновом болоте восточно-европейской лесотундры достигал 5,8 см в год. В южной тундре востока Западной Сибири прирост мхов, вероятно, меньше, чем в восточно-европейской лесотундре, где климат более влажный, но все же в среднем он будет не ниже, чем 1 см в год. Следовательно, рассматриваемый слой рыхлого (вечномерзлого и сезоннооттаивающего) почти неразложившегося торфа и уплотненного торфа толщиной 70 см отложился в период с начала XX в. до 1967 г.

Вероятно, в конце прошлого или в самом начале текущего столетия на данном участке торфяника погребенные полигонально-жильные льды вытаяли и на их месте образовались канавы, заполненные до краев водой. Эти канавы оконтуривали плоские, прямоугольные в плане отдельные, сложенные торфом. При промерзании воды в канавах торф по краям отдельных полигонов отжимался льдом и при этом приподнимался

над центральными участками прямоугольных отдельных. В дальнейшем в процессе многократных промерзаний образовались валики по краям торфяных отдельных-полигонов. Таким образом образовались валиковые полигоны с озерками в центрах и поясным распределением растительности. Затем началось заполнение торфом и зарастание канав и центральных частей полигонов. В настоящее время на данном участке накопление торфа почти прекратилось, и болотная растительность в центрах полигонов сменилась в целом тундровой.

После полного зарастания межполигональных канав и центральных частей полигонов и заполнения их торфом образуется плоский торфяник, покрытый тундровой растительностью без видимых следов полигонов и сети канав. Растительность таких плоских торфяников не отличается от растительности плоских торфяников, в которых погребены полигонально-жильные льды.

Стадии зарастания центральных частей вторичных валиковых полигонов, окруженных термокарстовыми канавами, сходны с таковыми первичных полигонов в период консервации полигонально-жильных льдов. Все это затрудняет распознавание мерзлотных процессов, протекающих в торфяниках: происходит ли накопление, консервация полигонально-жильных льдов или их вытаивание.

Не соответствуют действительности многие указания в литературе о морозобойном растрескивании грунтов и накоплении полигонально-жильных льдов на севере Западной Сибири, особенно в районах лесотундры и южной тундры, ибо они основаны на широком распространении там полигонально-валиковых болот, возникших после вытаивания полигонально-жильных льдов. Никаких морозобойных трещин в лесотундре и южной тундре Западной Сибири не наблюдается, ибо там слишком много снега.

В настоящее время полигонально-жильные льды в пределах Западной Сибири накапливаются только на самом севере полуостровов Гыдана и Ямала, но и здесь этот процесс весьма слабо выражен, о чем указывал еще Б.Н. Городков [1932а].

Наиболее важным и надежным признаком накопления полигонально-жильных льдов следует считать наличие морозобойных трещин, разбивающих поверхность почвы (растительного покрова) на прямоугольные отдельные.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОСКОБУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ

На дренированных участках вытаивание полигонально-жильных льдов в торфяниках приводит к формированию специфического рельефа. На таких участках канавы с водой, образующиеся в процессе термокарста по полигонально-жильным льдам в торфяниках, соединяются в общую сеть и находят сток в понижения (ручьи, реки, овраги и т.п.). Центральные плоские части полигонов, скованные вечной мерзлотой, обычно покрываются лишайниками, кустарничками (рис. 17), по обрывистым склонам канав торф обваливается, особенно на стыках канав, вследствие чего формируются округлые, овальные торфяные бугры с плоскими



Р и с. 17. Торфяник, расчлененный на отдельные бугры в результате вытаивания полигонально-жильных льдов



Р и с. 18. Плоские бугры, расположенные в строгом порядке в долине р. Надым

вершинами, расположенные в правильном порядке, как шашки на доске. Такие торфяники обычно называют плоскобугристыми (рис. 18). Их характерная особенность, кроме правильного распределения — одинаковые размеры бугров, определяемые размерами бывших валиковых полигонов, расчлененных полигонально-жильными льдами.



Р и с. 19. Канавы с водой между плоскими буграми



Р и с. 20. Плоские разрушающиеся бугры среди болот

В северной тайге, лесотундре и южной тундре Западной Сибири такие плоскобугристые торфяники распространены очень широко. В южной лесотундре и в северной тайге канавы между буграми заполняются снегом, препятствующим глубокому промерзанию торфа, на дне их обычно скапливается вода (рис. 19), способствующая быстрому протаиванию и прогреванию грунтов. В результате этого торф по бокам бугров и у их оснований глубоко протаивает, поэтому здесь наблюдаются обвалы и просадки торфа. Канавы таким образом постепенно расширяются, а отдельные бугры как бы расплываются (рис. 20). Так постепенно разрушаются отдельные торфяные бугры, и на месте торфяников образуются болота, по окраинам которых сохранились плоские торфяные бугры, разделенные широкими понижениями (см. рис. 20).

Высота плоских бугров зависит от мощности торфа, пронизанного полигонально-жильными льдами, и местами достигает 6 м. В пределах одного и того же торфяного массива высота бугров тем больше, чем глубже вытаяли ледяные жилы и чем лучше дренирован участок. В крайних частях торфяников, примыкающих к озерам, рекам, ручьям и другим понижениям, вода из межполигональных канав стекает и бугры наиболее высоки, а по мере удаления от окраин торфяника высота бугров уменьшается.

Часто в крайних участках таких торфяников высокие плосковершинные бугры, разрушаясь в процессе термокарста, когда торф сильно обваливается по краям бугров и особенно на перекрестках канав, принимают выпуклую форму. Вследствие этого их ошибочно принимают за крупнобугристые (выпуклобугристые) торфяники.

На одном и том же торфяном массиве на наиболее дренированных (краевых) участках можно наблюдать выпуклые высокие бугры, плоские высокие бугры, расположенные дальше от окраины торфяника, еще дальше плоские невысокие бугры, а на слабодренированных участках — полигонально-валиковые болота, окруженные канавами с водой. Все это свидетельствует о едином генезисе этих различных по форме торфяных бугров и полигонально-валиковых болот, который подробно рассмотрен Н.И. Пьявченко [1955].

Однако, полагая, что существует только такой способ образования выпуклых бугров (крупнобугристых торфяников), многие исследователи считают, что плоскобугристые торфяники не отличаются в сущности от крупнобугристых и генезис их одинаков [Пьявченко, 1955].

Крупнобугристые торфяники существенно отличаются по генезису и строению от плоскобугристых и выпуклобугристых, возникающих в процессе разрушения торфяников, содержащих полигонально-жильные льды. Эти крупнобугристые торфяники возникают и возникали в процессе пучения минеральных грунтов, подстилающих торфяники, при их промерзании, сопровождающемся подтоком влаги к фронту промерзания снизу и формированием мощных слоев льда в минеральном ядре. Их генезис в связи с динамикой растительного покрова подробно рассматривается в следующем разделе.

Таким образом, наблюдается тесная взаимосвязь динамики растительного покрова полигонально-валиковых болот с мерзлотными процессами:

морозобойным растрескиванием грунтов, накоплением и вытаиванием полигонально-жильных льдов, формированием валиков, пучением грунтов и образованием пятен и бугров на валиках.

Полигональные болота образуются в Арктике в настоящее время двумя путями: 1) в процессе развития растительности на валиковых полигонах, образовавшихся при морозобойном растрескивании грунтов и накоплении полигонально-жильных льдов (преимущественно в поймах рек, озер), 2) в процессе развития растительности после вытаивания древних полигонально-жильных льдов в торфяниках (преимущественно на древних террасах и плоских равнинах междуречий).

Морозобойное растрескивание и накопление полигонально-жильных льдов определяют развитие полигональных болот.

Развитие растительности закрепляет валики, препятствуя их размыву и заплыванию трещин при оттаивании грунтов.

Растительность закрепляет ежегодное сжатие и растрескивание грунтов, способствуя таким путем расширению трещин-канав между полигонами, заполняемых водой, и создавая условия для фронтального роста ледяных жил вверх.

С развитием растительности, особенно мохового покрова, и накоплением торфа на валиках затрудняется сток с центральных частей полигонов и увеличивается глубина водоемов.

Растительность, замедляя течение полых вод, способствует отложению ила в пределах полигонально-валиковых болот.

Развитие растительности на валиках создает условия для неравномерного промерзания и протаивания грунтов, вследствие чего на них наблюдается образование бугров пучения, пятен, трещин и разрывов растительного покрова.

Развитие растительности, особенно мохового покрова, и накопление торфа, а также кустарничков и кустарников, способствующих отложению рыхлого снега, уменьшают перепады температур грунтов с глубиной и ведут к замедлению, а затем прекращению морозобойного растрескивания грунтов и накопления полигонально-жильных льдов.

Растительный покров заполняет трещины-канавы между полигонами и западинки в центральных частях полигонов, выравнивает таким путем поверхность полигонов, способствуя уменьшению задержки снега и усилению охлаждения грунтов, погребает и сохраняет полигонально-жильные льды.

Растительный покров и торф сохраняют полигонально-жильный лед в течение многих тысячелетий.

Торфяники с полигонально-жильными льдами в Западной Сибири — древние. Они распространены от типичной тундры до подзоны редкостойных лесов, наибольшую площадь занимают в лесотундре и южной тундре.

Нарушение и уничтожение растительного покрова, перекрывающего полигонально-жильные льды, вызывают термокарстовые процессы. В результате на торфяниках с полигонально-жильными льдами в зависимости от условий дренажа формируются различные формы рельефа: 1) на слабодренированных участках — полигонально-валиковые болота, окруженные канавами с водой, 2) на сильнодренированных — плоскобугристые

торфяники. Затем полигонально-валиковые болота превращаются в плоские торфяники, покрытые тундровой растительностью. Плоскобугристые торфяники либо разрушаются, при этом плоские бугры нередко становятся выпуклыми, либо канавы между буграми зарастают, заполняясь торфом, и на их месте также образуются плоские вечномёрзлые торфяники, покрытые тундровой растительностью. Первый путь развития преобладает в северной тайге и южной лесотундре, второй — в северной лесотундре и южной тундре.

Плоскобугристые торфяники распространены от типичной тундры до южной границы вечной мерзлоты. Выпукловершинные торфяные бугры, образовавшиеся в процессе разрушения плоских, также распространены на этой территории.

В северной тайге Западной Сибири полигонально-жильные льды в торфяниках на большей части территории вытаяли. Здесь широко распространены плоскобугристые торфяники с буграми, достигающими 4—6 м, в краевых частях нередко с выпуклыми вершинами. Эти торфяники свидетельствуют о более суровом, континентальном климате на этой территории в прошлом, в период накопления полигонально-жильных льдов в них.

Вблизи южной границы вечной мерзлоты большая часть торфяников с полигонально-жильными льдами переработана в результате термокарстовых процессов, и на их месте образовались болота (преимущественно переходные) с мелкими озерами, местами — грядово-мочажинный комплекс.

3. РАЗВИТИЕ КРУПНОБУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ

Под крупнобугристыми торфяниками понимают торфяные болота, которые характеризуются наличием крупных выпуклых торфяных бугров. "Наиболее яркий признак этих болот — присутствие крупных и высоких торфяных бугров. Своей высотой (от 2 самое меньшее 1,5 м и выше) и выпуклой вершиной они отличаются от низких и плосковершинных плоских бугров. Площадь и очертания бугров — разнообразные. Эти бугры образуют комплекс то с мокрыми мочажинами, то с более сухими понижениями, то с озерами" [Кац, 1948, с. 51]. Характеризуя крупнобугристые торфяники района Игарки, Н.Я. Кац (1948) отмечает, что в основе бугров здесь чаще залегает выпуклина глины или суглинка. Основную массу высоких бугров составляет минеральное ядро, а не торф. Бугры почти доверху сложены осоковыми, гипновыми и сфагново-осоковыми торфами, материнские фитоценозы которых занимали пониженные участки болот. В толще бугров как в торфе, так и в минеральном грунте обычны прослойки и линзы льда. Д.А. Драницын [1914] также писал, что в низовьях Енисея бугры высотой 3—6 м, при поперечнике около 10 м сложены льдистым торфом, в котором преобладают хвощи и гипновые мхи. Под торфом отмечено выпуклое минеральное ядро (синеватые глины), в котором тоже сохраняется чистый лед в виде жил и слоев, объем льда — 20—25% от всей мерзлой массы.

По данным Г.И. Танфильева [1911], бугры состоят целиком из торфа. Н.П. Пьявченко [1955] сообщал, что крупнобугристые торфяники отличаются от плоских лишь выпуклыми и крупными буграми.

Следовательно, под крупнобугристыми торфяниками объединялись разнородные по составу выпуклые торфяные бугры.

С развитием исследований вечной мерзлоты глубоким бурением с оборотом ненарушенного керна было установлено, что существуют по крайней мере два типа выпуклых крупных бугров, различающихся по составу.

Первый тип, очень широко распространенный на севере Европейской части Союза и в Западной Сибири, характеризуется тем, что бугры сложены исключительно торфом [Пьявченко, 1955]. Если под торфом иногда и встречается выпуклина минерального грунта, то она значительно меньше торфяной части бугра, и льдистость ее небольшая [см. Драницын, 1914].

Второй тип характеризуется буграми с сильно насыщенным льдом минеральным ядром, составляющим основную массу бугра. Типичное строение такого бугра рассматривается в работе Г.С. Константиновой [1963].

На первой надпойменной террасе р. Хантайки, в 60 км от ее устья, бурением с извлечением керна ненарушенной структуры было установлено следующее строение торфяного бугра высотой 9 м:

0,0–1,8 м — торф темно-коричневый, мажущийся, сильно разложившийся, мерзлый с глубины 40 см, на глубине 95–105 см слой льда, льдистость — 80–90% объема слоя;

1,8–5,8 м — песок тонкозернистый, голубовато-серый, пылеватый с включениями торфа (в верхней части), гальки, гравия и валунов. Лед в виде гнезд кристаллов и прослоев составляет 15–50% объема слоя;

5,8–16,2 м — тяжелый суглинок, пылеватый, слоистый с голубоватыми прослойками, сильнольдистый; в верхней части прослойки льда 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.

Бугры с минеральным ядром, в котором содержится много прослоек и линз льда, объем которых зачастую превышает объем минерального грунта, описаны на Кольском полуострове [Константинова, 1953], в Западной Сибири [Попов, 1946, 1953; Константинова, 1963; Белопухова, 1962; Тыртиков, 1966, 1969].

Кроме бугров с льдистым минеральным ядром, в пределах Западной Сибири распространены торфяные массивы площадью до нескольких десятков гектар, характеризующиеся наличием под торфом минерального выпуклого ядра с очень высоким содержанием льда, превышающим объем минеральной части. Такие массивы возвышаются над окружающими их лесами и болотами на 10–12 м (рис. 21).

Мощность торфа на буграх и массивах — 0,5–6,0 м. Бугры и торфяные массивы имеют различные склоны от пологих до обрывистых. Количество льда в минеральных ядрах торфяных бугров и массивов обычно равно их высоте.

Бугры и торфяные массивы, как правило, безлесны, местами на них встречаются отдельные угнетенные лиственницы, ели, кедры и березы, иногда образующие редкие насаждения (редколесья). На вершинах и верхних частях их склонов преобладает багульник (*Ledum palustre*, 20–40%), часто встречаются *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Empetrum nigrum*, *Rubus chamaemorus*. В сплошном напочвенном покрове господствует *Cladonia alpestris*, обильны *Cl. rangiferina*, *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum alpestre*.

На пологих склонах бугров и торфяных массивов в напочвенном покрове также преобладает *Cladonia alpestris*, но часто встречаются подушки *Sphagnum fuscum*, *Sph. acutifolium*. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают *Ledum palustre* (20–30%), *Vaccinium uliginosum* (10–20%) —



Р и с. 21. Торфяной массив (слева), возвышающийся на 12 м над озером, и торфяной бугор (справа). Междуречье Обь—Надым

на лишайниковом ковре, а на подушках сфагнома — *Rubus chamaemorus*, *Oxycoccus microcarpus* и иногда *Carex globularis*, часто встречаются *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Betula nana*, *Cassandra calyculata*.

Нижние отрезки пологих склонов бугров и торфяных массивов заняты сфагновыми болотами, в напочвенном покрове их господствует *Sphagnum fuscum*, а в травяно-кустарничковом ярусе *Rubus chamaemorus*, *Oxycoccus microcarpus*. Основания бугров окаймлены кустарничково-сфагновыми болотами. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают *Andromeda polifolia*, *Cassandra calyculata*, *Betula nana*, часто встречаются *Oxycoccus palustris*, *Carex globularis*, *C. rotundata*, *C. limosa*.

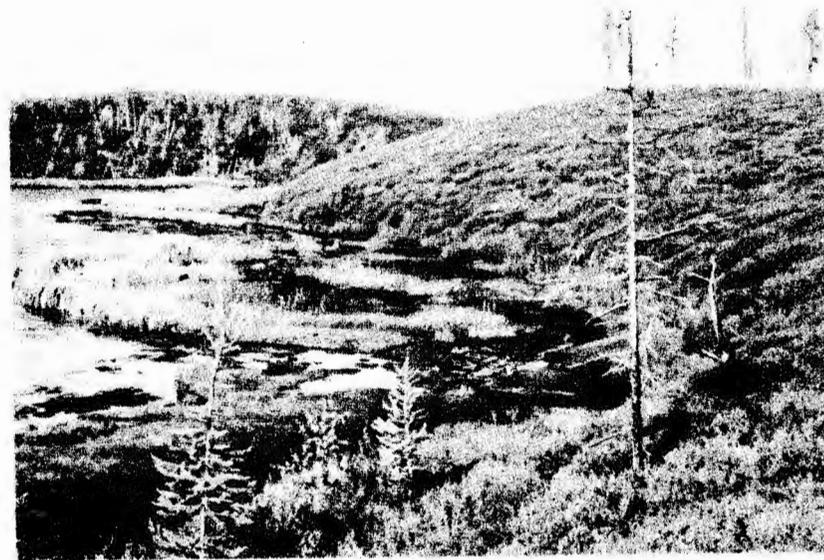
В напочвенном покрове преобладают *Sphagnum balticum*, *Sph. angustifolium*, *Sph. warnstorffii*.

На крутых склонах бугров, обращенных на юг и восток, в напочвенном покрове преобладает *Cladonia alpestris*, а в травяно-кустарничковом ярусе — багульник и брусника. На склонах бугров и массивов, обращенных на север и запад, карликовая береза образует обычно отдельный ярус высотой 60–100 см (рис. 22), в травяно-кустарничковом ярусе преобладают морошка и черника (*Vaccinium myrtillus*), а в напочвенном покрове — *Cladonia sylvatica*, *Cl. alpestris*, местами *Cetraria islandica*. Это различие растительного покрова склонов разных экспозиций обусловлено тем, что зимой господствующие в районе юго-восточные и южные ветры сносят снег с южных и восточных склонов бугров и с массивов и наносят его на западные и северные склоны, создавая, таким образом, благоприятные условия для развития карликовой березы, черники и других видов.



Р и с. 22. Карликовая береза на северном склоне торфяного бугра в окрестностях Игарки

Такие бугры расположены одиночно или группами в понижениях на междуречьях и аллювиальных террасах. Бугры и торфяные массивы окружены озерно-болотными понижениями или примыкают к ним (рис. 23), нередко располагаясь цепочкой вокруг таких понижений. Понижения заняты различными болотами: осоковыми, осоково-сфагновыми, осоково-гипновыми, пушицево-сфагновыми, пушицевс-гипновыми, вахтовыми, вахтово-гипновыми, кустарничково-сфагновыми, кустарничково-сфагновыми и другими, а также термокарстовыми неглубокими озерами, обычно зарастающими на отдельных участках, примыкающих к низким берегам, и разрушающими торфяники (торфяные бугры, массивы) около высоких, обрывистых берегов, где заметны обвалы торфа (рис. 24).



Р и с. 23. Торфяные бугры и озерно-болотные понижения на междуречье Обь—Надым



Р и с. 24. Обвалы торфа на склоне торфяного бугра

В понижениях под болотами и водоемами нет вечной мерзлоты или она залегает на большой глубине. На торфяных буграх и массивах торф протаивает сверху обычно не глубже 60 см, и вечная мерзлота залегает на глубине 30—60 см.

Существует несколько гипотез образования торфяных бугров.

Эрозионная теория происхождения торфяных бугров, предложенная Чильманом [Kihlman, 1890], не была принята большинством исследователей.

Г.И. Танфильев [1911] высказал совершенно правильную мысль о формировании бугристых торфяников в процессе заболачивания водоемов и неизбежном возникновении вечной мерзлоты при этом. Однако он рассматривал торфяной бугор в качестве выпуклого сфагнового торфяника.

Д.А. Драницын [1911] о процессе возникновения бугров писал: "Бугры возвышаются медленным нарастанием силы воды, замерзающей и действующей незаметно, мощно, подобно винту" (с. 44), т.е. вода попадает в мерзлый бугор и, замерзая там, выпучивает его. Однако механизм попадания воды в мерзлый бугор в то время не был ясен, поэтому гипотеза Д.А. Драницына, в сущности правильная, была непонятна и не получила признания. Лишь впоследствии она была обоснована опытами Тебера [Taber, 1929, 1930], показавшими, что замерзание влажной глины сопровождается увеличением объема не только за счет перехода воды в лед, но главным образом притяжением значительного объема воды из незамерзших участков в замерзшие. Вода как бы всасывается замерзающей поверхностью почвы. По Теберу, вызванное этим увеличением объема давление достигает 15 кг/см^2 . С наступлением осенних морозов в глинистой почве происходит "сегрегация" (стяжение) чистого льда главным образом за счет капиллярно приподнимающейся воды. Лед образуется или внутри почвенной толщи, или на ее периферии. Ю.А. Ливеровский [1934], оценивая значение исследований Тебера для объяснения генезиса бугров, писал, что установленное Тебером явление притяжения льдом капиллярно поднимающейся воды в процессе замерзания тундровой почвы устраняет многие неясности теории Драницына.

Явление, открытое Тебером, было не сразу воспринято мерзлововедами для объяснения возникновения торфяных бугров с минеральным льдом насыщенным льдом ядром. Так, М.И. Сумгин [1934, 1938] придерживался мысли, что бугры возникли в результате гидродинамического напора при промерзании таликов. Эту точку зрения на возникновение крупнобугристых торфяников воспринял и Н.Я. Кац [1948]: "Скопление воды — важное условие образования бугров, так как последние большей частью возникают в результате мерзлотного вспучивания при замерзании талой воды. Сравнительно теплое лето, достаточная глубина оттаивания и образование значительных количеств воды, дающей при замерзании большой эффект, необходимы для образования крупных бугров" (с. 52).

Б.Н. Городков [1946], присоединяясь к мнению Д.А. Драницына о возникновении бугров, учитывал исследования Тебера. Он писал, что в процессе развития болот на месте водоемов возникают сфагновые бугры, на поверхности которых сфагны отмирают и сменяются лишайниками, дикрановыми, политриховыми и другими мхами. Возникновение таких относительно сухих бугров ведет к появлению мерзлоты, оттаивание мерзлоты задерживается, и лед накапливается за счет подтекаю-

щей воды. В результате происходит выпячивание поверхности, и таким образом бугры постепенно превращаются в крупнобугристые торфяники.

Важно подчеркнуть, что Б.Н. Городков [1946] связывал развитие крупнобугристых торфяников с формированием вечной мерзлоты в процессе развития современного растительного покрова болот.

Теория Д.А. Драницына получила научное обоснование после открытия закона миграции влаги в промерзающих грунтах [Цытович, 1952].

А.И. Попов [1946] применил этот закон для объяснения формирования выпуклобугристых (крупнобугристых) торфяников. Впоследствии формирование крупных торфяных бугров с минеральным льдыстым ядром объяснялось с помощью этого закона многими исследователями [Константинова, 1953, 1963; Тыртиков, 1966, 1969; Белопухова, 1967; и др.].

О времени формирования крупнобугристых торфяников существуют две точки зрения. Первая, которую поддерживают в основном мерзловеды, сводится к утверждению, что бугры образовались в процессе пучения при промерзании болот в прошлом и что в настоящее время крупнобугристые торфяники деградируют [Сумгин, 1934, 1938; Попов, 1953; и др.]. Многие исследователи считают, что бугры формируются и в настоящее время [Танфильев, 1911; Драницын, 1914; Кузнецов, 1932; Андреев, 1931; Шумилова, 1931; Городков, 1932б, 1946; Цизерлинг, 1934].

Первая точка зрения опирается на многочисленные данные о разрушении торфяных бугров в процессе термокарста и является логическим следствием и подтверждением известной "теории деградации вечной мерзлоты" М.И. Сумгина [1937]. Сторонники этой точки зрения ссылаются на факты отсутствия накопления торфа на буграх [Кац, 1939]. Действительно, бугры, покрытые лишайниками, свидетельствуют о том, что накопление торфа на них прекратилось и идет его разложение. Торф многих вершин бугров и верхних частей их склонов настолько разложился в пределах сезоннооттаивающего слоя, что представляет собой однородную, коричневую, мажущуюся массу, в которой незаметны растительные остатки (за исключением корней и побегов кустарников, кустарничков и трав, растущих на буграх). Кроме этих фактов, несомненно свидетельствующих о разложении торфа на буграх, наблюдается очень много торфяных бугров, разрушающихся термокарстом.

Все материалы подобного рода подтверждают указанную точку зрения. Однако исследователи, придерживающиеся этой точки зрения, учитывают только одну сторону явления — разрушение торфяных бугров — и не анализируют современные условия развития болотной растительности. Представители второй точки зрения связывают формирование бугров с современной динамикой растительности болот.

Еще Г.И. Танфильев [1911] показал, что в процессе развития болотной растительности и накопления сфагнового торфа в Тиманской тундре возникают торфяные бугры с вечной мерзлотой. Д.А. Драницын [1914] отмечал, что на одном и том же болотном массиве наблюдаются стадии разрушения и формирования торфяных бугров.

Наиболее четко взаимосвязь между динамикой современной болотной растительности и формированием вечномерзлых торфяных бугров была показана Б.Н. Городковым [1946].

Однако все эти гипотезы и высказывания не были обоснованы фактическим материалом по динамике промерзания и протаивания грунтов в процессе развития болотной растительности и формирования торфяных бугров.

Для решения вопроса о формировании вечномерзлых торфяных бугров с льдистым минеральным ядром в различных районах севера Западной Сибири проводились исследования динамики растительности болот, а также промерзания и протаивания грунтов в процессе смен болотных сообществ.

Наблюдая и характеризуя пространственные экологические ряды болотных сообществ, мы устанавливали по общепринятой методике [Александрова, 1964] последовательные ряды смен растительного покрова во времени (сукцессии). Изучая промерзание и протаивание грунтов и вечную мерзлоту на участках последовательно сменяющихся болотных сообществ, мы получили представление об изменении этих процессов и вечной мерзлоты в ходе смен растительного покрова при заболачивании водоемов и суши вообще [Тыртиков, 1969, 1974] и об условиях развития крупнобугристых торфяников в частности.

ОБРАЗОВАНИЕ КРУПНОБУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ В ПРОЦЕССЕ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ВОДОЕМОВ

Заболачивание водоемов Западной Сибири в связи с динамикой промерзания, протаивания грунтов и вечной мерзлоты мы изучали в 1949, 1950, 1957–1959 гг. в долине р. Енисей в районе Игарки, в 1959 г. — в долине р. Хантайка, в 1961 г. — в бассейне р. Ярудей и на Ярудей-Надымском междуречье, в 1965, 1966 гг. в долине р. Таз от пос. Толька (64° с.ш.) до границы с тундрой, а также на отдельных участках Таз-Енисейского и Таз-Пуровского междуречий. Исследовав температурный режим, протаивание и промерзание грунтов в развивающихся по берегам зарастающих водоемов болотах различных типов, сменяющихся в процессе развития, мы выявили закономерные изменения мерзлотно-грунтовых условий.

Все водоемы в северной тайге Западной Сибири подстилаются тальми грунтами. Разнообразие водно-болотных сообществ, развивающихся на мелких прибрежных участках водоемов, зависит от состава воды и грунта. В водоемах, богатых элементами минерального питания растений, развиваются крупноосковые сообщества (доминируют *Carex aquatilis*, *C. gracilis*, *C. rhynchophylla*, *C. vesicaria*, *C. inflata*), хвощ (*Equisetum helocharis*), сабельниковые и вахтовые болота, обычно с ежеголовкой (*Sparganium minimum*; рис. 25) и пузырчаткой (*Utricularia vulgaris*). Такие водоемы распространены преимущественно в поймах рек. На междуречьях и речных террасах более обычны водоемы, бедные питательными веществами, поэтому сфагновые мхи развиваются в них уже на первых этапах зарастания.



Р и с. 25. Зарастающее озеро в пойме Енисея у Игарки

Водно-болотные сообщества располагаются вдоль берегов полосами (поясами) в определенной последовательности. Часто внутренний пояс (полоса), граничащий со свободной водной поверхностью, образован зарослью вахты (*Menyanthes trifoliata*) на сплошном сфагновом ковре, состоящем в основном из *Sphagnum girarium*, *Sph. lindbergii*, *Sph. squarrosum*.

По мере накопления торфа часть водоема под зарослью вахты мелеет, и создаются условия для поселения новых видов, обычно пушиц (*Eriophorum angustifolium*, *E. russeolum*), и вахтово-сфагновые болота сменяются пушицево-сфагновыми. Кроме пушиц, на них растет вахта, а в моховом покрове, помимо отмеченных сфагнов, встречается *Sph. amblyphyllum*. Пушицево-сфагновые болота сменяются по мере накопления торфа осоково-сфагновыми. На сплошном ковре из *Sphagnum amblyphyllum*, *Sph. lindbergii*, *Sph. balticum* обильны *Carex limosa*, *C. rotundata*, встречаются вахта, отмеченные пушицы, а также *Eriophorum scheuchzeri*, *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus quadripetalus*.

Болотные сообщества в этой последовательности наступают от берегов на водоемы. Эти болота характеризуются наличием воды на поверхности. В северной тайге Западной Сибири под любыми болотами с водой на поверхности сезоннопромерзающие слои почвы (торфа) протаивают ежегодно полностью в течение некоторой части лета. Из 334 пунктов, в которых наблюдалось протаивание почв на таких болотах в 1949, 1950, 1957–1959, 1961, 1965, 1966 гг., сезоннопромерзающие слои протаяли полностью в 307 пунктах до 1 августа, а в остальных — после 1 августа. В таких условиях вечная мерзлота не формируется, а если она залегает

под этими участками, то деградирует под воздействием тепла, поступающего в грунты после протаивания сезоннопромерзающего слоя. Поэтому в Западной Сибири все болота с водой на поверхности, расположенные в пределах тайги и южной лесотундры, служат индикаторами талых грунтов или деградации вечной мерзлоты.

По мере накопления торфа на осоково-сфагновых болотах развиваются кустарнички, и болота становятся кустарничково-сфагновыми. Среди кустарничков на различных участках доминируют подбел (*Andromeda polifolia*), кассандра (*Cassandra calyculata*), часто встречаются *Ledum palustre*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*, очень обильны клюква (*Oxycoccus microcarpus*), морошка (*Rubus chamaemorus*), осока (*Carex globularis*). В сплошном моховом покрове доминируют *Sphagnum balticum*, *Sph. angustifolium*, *Sph. fuscum*, *Sph. warnstorffii*, *Sph. russowii*, *Sph. acutifolium*.

Поверхность кустарничково-сфагновых болот возвышается на 30–60 см над поверхностью водоемов. Условия протаивания торфа здесь сильно отличаются от таковых на болотах, с водой на поверхности, поскольку: 1) на поверхность болот, покрытую слоем воды, поступает больше солнечной энергии, чем на почву со сплошным растительным покровом, так как вода пропускает около 90% суммарной радиации, а растения большую часть ее перехватывают; 2) теплопроводность почв и насыщенных водой сфагнового ковра обводненных болот значительно больше, чем сфагнового ковра кустарничково-сфагновых болот, особенно в сухой период лета, когда между стебельками сфагнома содержится только воздух. В результате этого приток тепла в почву под кустарничково-сфагновыми болотами оказывается значительно меньшим, чем под болотами с водой на поверхности. Так, около пос. Красноселькупск (среднее течение р. Таз) средняя температура почвы на глубине 20 см за период с 1 по 20 августа 1966 г. на осоково-сфагновом болоте была +8,6°, на кустарничково-сфагновом, возвышавшемся на 60 см над водоемом, +3,3°.

По мере накопления торфа на кустарничково-сфагновых болотах протаивание почв прогрессивно замедляется и, наконец, наступает такой момент, когда сезоннопромерзающий слой их не протаивает полностью в течение лета и образуются перелетки. В последующие годы талые слои почвы над перелетками промерзают полностью в течение части зимнего периода, а в остальную часть его промерзают талые грунты под перелетками; таким путем формируется вечная мерзлота, мощность которой увеличивается по мере повышения поверхности болот (табл. 11).

Образование вечной мерзлоты на глубине 40–50 см ведет к дальнейшему понижению температуры почвы, к изоляции почвы от грунтовых вод и, таким образом, к прогрессирующему обеднению ее элементами минерального питания растений. В результате ухудшения почвенных условий кустарнички и кустарники угнетаются и истреживаются и кустарничково-сфагновые болота сменяются олиготрофными сфагновыми болотами. В сплошном напочвенном покрове преобладает *Sphagnum fuscum*, часто встречаются *Sph. acutifolium*, *Sph. angustifolium*. Кустарнички здесь сильно угнетены (высота их не более 20 см, покрытие око-

Таблица 11

Зависимость толщины вечномерзлого слоя от высоты кустарничково-сфагновых болот над водоемами в окрестностях пос. Красноселькупск

Высота поверхности болота над водоемом, см	Глубина, см		Толщина вечномерзлого слоя, см
	протаивания	залегания нижней поверхности вечной мерзлоты	
30	50	60	10
35–40	50	70–80	20–30
60–70	50	200	150

Таблица 12

Изменение температуры, глубины протаивания грунтов и мощности вечной мерзлоты в процессе зарастания водоемов и формирования вечномерзлых торфяников в северной тайге Западной Сибири

Стадия развития	Глубина протаивания, см	Температура (°C) грунтов на глубине, м			Мощность вечной мерзлоты, м
		2	5	10	
Вехтово-сфагновые болота	Сезонномерзлый слой протаивает полностью	Выше 0			Нет
Пушицево-сфагновые болота	То же	То же			"
Осоково-сфагновые болота	"	"			"
Кустарничково-сфагновые болота	50–55	–0,1 до –0,2	Выше 0	Выше 0	1,5–3,0
Олиготрофные сфагновые болота	30–40	–0,2 до –1,5	–0,5 до –1,5	+0,1 до –0,3	5–12
Багульниково-лишайниковые тундры	30–50	–0,5 до –2,0	–1,0 до –2,5	–1,0 до –2,0	10–30

ло 20%). На сфагновом ковре обильны морошка и клюква, встречается *Carex globularis*. Снег с поверхности таких болот легко сносится, и грунты охлаждаются и промерзают сильнее, чем под кустарничково-сфагновыми болотами; глубина протаивания почвы уменьшается до 30–40 см, а мощность вечной мерзлоты увеличивается до 5–10 м и более (табл. 12).

Накопление торфа, нарастание мхов и пучение грунтов при промерзании повышают поверхность торфяника, занятого олиготрофными сфагновыми болотами, она становится суше, и сфагновые мхи в таких условиях постепенно сменяются лишайниками. Начинается разложение торфа лишайниками и грибами, в процессе которого почва обогащается питательными веществами растений, рост кустарничков улучшается.

Кустарничково-лишайниковые тундры сменяют олиготрофные сфагновые болота. На сплошном ковре из лишайников (преобладает *Cladonia alpestris*, обильны *Cladonia gracilis*, *Cl. cornuta*, *Cl. amaurocraea*, *Cl. rangiferina*, *Cl. sylvatica*, *Cl. coccifera*, *Cl. deformis*, *Cetraria cucullata*, *C. islandica*, *C. nivalis*), среди которого встречаются подушки сфагновых мхов (*Sphagnum fuscum*, *Sph. acutifolium*), преобладает *Ledum palustre* (20–30%), обильны *Betula nana*, *Rubus chamaemorus*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Carex globularis*.

В такой последовательности болотные сообщества продвигаются к центральным (более глубоким) частям водоемов, а именно: заросли вахты, образующие авангард наступающей болотной растительности, сменяемые по мере накопления торфа пушицево-сфагновыми болотами, продвигаются к центрам водоемов на обмелевшие участки их. Соответственно на пушицево-сфагновые болота надвигаются осоково-сфагновые, на осоково-сфагновые — кустарничково-сфагновые и т.д.

По мере продвижения болотной и тундровой растительности к центральным частям водоемов увеличивается площадь вечномерзлых торфяников и соответственно уменьшается площадь таликов. С увеличением площади вечномерзлых торфяников увеличивается и мощность вечной мерзлоты, так как с участков торфяника, покрытого тундровой растительностью и олиготрофной болотной, возвышающихся над водоемами, снег сносится и грунты сильно промерзают и охлаждаются.

Так постепенно на месте водоемов формируются вечномерзлые торфяники, покрытые тундровой растительностью.

Характерная особенность торфонакопления в условиях севера Западной Сибири — кратковременность олиготрофной стадии, что является следствием неизбежного формирования вечной мерзлоты в процессе развития болотной растительности. Образование вечной мерзлоты на болотах ускоряет изменение экологических условий в сторону осушения и обеднения почв болот элементами минерального питания растений вследствие того, что поверхность таких болот повышается значительно быстрее, чем там, где нет вечной мерзлоты, по следующим причинам:

1. Сфагновый торф почти не разлагается вследствие низкой температуры и не уплотняется из-за очень медленного и неглубокого (30–40 см к концу вегетации) оттаивания его. Верхняя поверхность вечной мерзлоты ежегодно повышается на величину приблизительно равную приросту сфагнума.

2. В процессе образования и накопления вечномерзлого слоя происходит пучение (поднятие) поверхности торфяника за счет увеличения объема льда при промерзании напитаемых до предела водой слоев торфа, лежащих над вечной мерзлотой.

Повышение поверхности болот неблагоприятно отражается на росте сфагновых мхов. При повышении поверхности олиготрофного болота на 60–100 см над водоемом или болотом с водой на поверхности сфагновые мхи начинают отмирать, сменяясь лишайниками. Величина ежегодного прироста сфагнового олиготрофного торфа в лесотундре Западной Сибири не меньше 6 мм [Тыртиков, 1974]. Следовательно, продолжительность олиготрофной стадии не превышает 200 лет.

Вследствие отмеченных особенностей торфонакопления в области вечной мерзлоты, как правило, образуются вечномерзлые торфяники, поверхность которых плоская и возвышается не более чем на 1,5–2,0 м над зарастающими водоемами. Именно такие вечномерзлые торфяники очень широко распространены в северной тайге и южной лесотундре Западной Сибири.

Однако в северной тайге и в южной лесотундре Западной Сибири распространены выпуклые торфяные массивы и торфяные бугры, возвышающиеся над озерно-болотными понижениями, среди которых они встречаются, на 4–12 м. Выпуклые торфяные массивы и торфяные бугры сложены сверху торфом, под которым залегает сильнольдистое минеральное ядро, также выпуклое, состоящее в основном из льда и суглинистого (пылевато-суглинистого) или пылевато-супесчаного материала.

Выпуклая форма бугров и минерального ядра и очень большое количество льда в ядре давно уже натолкнули исследователей на мысль объяснить образование таких бугров пучением при промерзании [Драницын, 1914; Городков, 1928, 19326, 1946; Сумгин, 1934, 1938; Ливеровский, 1934; Кац, 1948; и др.].

Однако лишь с открытием закона миграции влаги в промерзающих грунтах механизм образования таких бугров получил научное объяснение. Сущность этого закона заключается в следующем. В процессе промерзания суглинистых (глинистых и пылеватых супесчаных) грунтов под влиянием перепада температуры происходит миграция влаги к фронту промерзания из немерзлых участков. Замерзая на границе талого и мерзлого грунта, вода образует прослойки льда. Прослойки льда образуются в том случае, когда на границе мерзлого и талого грунтов создается более или менее длительное равновесие между оттоком тепла в мерзлый грунт и его притоком из талых слоев и выделением при замерзании воды, поступающей к фронту промерзания. Чем дольше сохраняется такое равновесие, тем больше толщина прослоек льда. Если отток тепла будет больше притока и выделения тепла при замерзании воды, фронт промерзания продвигается в направлении талика и прослойки льда не образуются. В том случае, когда отток тепла будет меньше притока, очевидно, будет наблюдаться оттаивание грунтов.

Крупнобугристые торфяники и выпуклые торфяные массивы характеризуются горизонтальными прослойками льда в минеральном ядре и торфе [Константинова, 1953, 1963; Белопухова, 1962]. Следовательно, эти прослойки образовались при наличии вертикального градиента температуры и при миграции влаги снизу, т.е. при промерзании сверху.

Процесс образования крупнобугристых торфяников и выпуклых торфяных массивов можно представить следующим образом. В ходе зарастания водоемов неизбежно образуется вечная мерзлота под кустарничково-сфагновыми болотами (см. с. 94), граничащими с осоково-сфагновыми, под которыми грунты талые. По мере наступления кустарничково-сфагновых болот на осоково-сфагновые увеличивается площадь вечномерзлого торфяника. Одновременно с этим кустарничково-сфагновые болота сменяются олиготрофными сфагновыми болотами, с поверхности которых снег сносится и грунты охлаждаются и промерзают

сильнее, чем под кустарничково-сфагновыми болотами и т.д. С увеличением площади кустарничково-сфагновых, олиготрофных сфагновых болот и кустарничково-лишайниковых тундр фронт вечной мерзлоты в торфянике продвигается не только в стороны, но и вниз, и вечная мерзлота сковывает все более глубокие слои болот. После промерзания торфа начинается промерзание минеральных грунтов под торфяником. В том случае, когда под торфом залегают пучинистые грунты (суглинки, глины и т.п.), создаются благоприятные условия для образования прослоек льда на границе мерзлого и талого слоев. Под влиянием разности температуры влага из талого нижележащего грунта подтягивается к фронту промерзания и, замерзая здесь, образует горизонтальные прослойки льда. В процессе их образования создается очень высокое давление, и образующийся мерзлый торфяник выпучивается вверх.

Вначале, когда промерзают верхние слои минерального пучинистого грунта, равновесие между оттоком тепла и притоком его к фронту промерзания и выделением при замерзании воды часто нарушается, обычно вследствие резкого увеличения оттока тепла вверх, поэтому образуются лишь тонкие (несколько миллиметров) прослойки льда, столь характерные для верхней части выпуклого минерального ядра торфяных бугров и массивов.

В дальнейшем по мере увеличения площади и высоты вечномерзлого торфяника фронт вечной мерзлоты продвигается вглубь, и на нижней границе ее создаются все более благоприятные условия для поддержания длительного равновесия между притоком (выделением тепла при замерзании воды) и оттоком тепла. Это происходит вследствие того, что с увеличением мощности вечной мерзлоты и понижением температуры грунтов тепловые потоки сверху все сильнее гасятся вечной мерзлотой и не достигают нижней границы вечной мерзлоты. Таким путем на нижней границе вечной мерзлоты создается длительный (в течение многих лет и десятилетий) поток тепла вверх, уравновешиваемый поступлением тепла снизу из талого грунта и образованием его при замерзании воды, мигрирующей к фронту промерзания. В это время образуются толстые (до 10—20 см и более) прослойки льда, столь характерные для вечномерзлых грунтов выпуклых торфяных массивов и бугров на глубине 10—20 м, т.е. там, где уже не наблюдаются колебания температуры в течение года.

По мере заполнения озерно-болотной котловины торфом увеличивается площадь выпуклого торфяного массива. Одновременно с этим увеличивается и высота вечномерзлого массива, так как с увеличением площади вечномерзлого торфяника усиливается охлаждение, промерзание грунтов (все меньше снега накапливается на данном участке) и, соответственно, их пучение. После полного зарастания озерно-болотного понижения и образования на его месте вечномерзлого выпуклого торфяника наступает равновесие между оттоком тепла из торфяного массива и притоком его из талых слоев, подстилающих торфяник. Пучение грунтов вследствие этого прекращается. Чем меньше образовавшийся торфяной бугор или выпуклый вечномерзлый торфяник, тем раньше наступает это равновесие, и, соответственно, тем раньше прекращается образование

прослоек льда на границе между вечномерзлым грунтом и таликом и пучение, тем меньше высота образовавшегося торфяного бугра (массива).

С усилением континентальности и суровости климата (до определенных пределов) высота крупнобугристых торфяников увечивается; это связано с тем, что увеличивается охлаждение грунтов и период их пучения.

Данное положение подтверждается распространением торфяных массивов и выпуклых торфяных бугров в Западной Сибири. Наиболее высокие выпуклые торфяники встречаются в Игарском районе, самом северном и наиболее континентальном в пределах зоны крупнобугристых торфяников. Здесь высота выпуклых торфяных массивов достигает 12 м над соседними озерно-болотными понижениями (см. рис. 23), а площадь — нескольких десятков гектар.

Пучение торфяного массива или бугра возможно, таким образом, при условии образования горизонтальных прослоек льда в процессе промерзания пучинистых грунтов (суглинистых, глинистых) под торфяником. Известно, что влажность суглинистых грунтов не превышает 30—40%. В то же время влажность мерзлого суглинистого ядра выпуклых торфяных массивов и бугров достигает 70% и больше. Очевидно, следует допустить, что влага для образования прослоек льда поступает под промерзающие участки извне. В процессе образования прослоек льда на нижней границе вечной мерзлоты влага мигрирует непосредственно из подстилающей мерзлоту талой суглинистой толщи, при этом граничащие со льдом слои суглинка обезвоживаются. По мере их обезвоживания вода поступает в них из соседних немерзлых участков болот, озер. Как только озерно-болотное понижение заполнится торфом и промерзнет полностью, пучение торфяника прекращается, так как подток влаги из мерзлых соседних участков невозможен, а влаги в грунтах под торфом недостаточно, чтобы при промерзании вызвать существенное увеличение объема грунта.

Таким образом, для образования выпуклого торфяника (бугра) необходимы следующие условия:

1. Медленное промерзание грунтов под торфом.
2. Наличие пучинистых грунтов под торфом, в процессе промерзания которых влага мигрирует к фронту промерзания и образует здесь прослойки льда.
3. Периодически наступающее продолжительное равновесие на границе мерзлого и талого грунта между оттоком тепла вверх и его выделением при замерзании мигрирующей влаги и притоком снизу из немерзлого подстилающего грунта к фронту промерзания.
4. Возможность пополнения влаги в грунтах, обезвоживаемых в процессе миграции ее к фронту промерзания в слоях, контактирующих с образующимися ледяными прослойками. Подток влаги должен совершаться из соседних (примыкающих к промерзающему торфянику) таликов.

Крупнобугристые торфяники (бугры и торфяные массивы с выпуклым льдистым минеральным ядром) образуются только при сочетании всех отмеченных условий.

Из анализа этих условий вытекает ряд следствий, объясняющих географическое распространение крупнобугристых торфяников:

1. Крупнобугристые торфяники могут образоваться только там, где вечная мерзлота несплошная, где острова или массивы вечной мерзлоты перемежаются таликами. В районах сплошной вечной мерзлоты крупнобугристые торфяники не образуются, и наличие древних крупнобугристых торфяников здесь свидетельствует о существовании островной вечной мерзлоты в прошлом. Приуроченность крупнобугристых торфяников к области несплошной вечной мерзлоты отмечена еще Б.Н. Городковым [19326].

2. Благоприятные условия для формирования выпуклых торфяных бугров создаются по берегам водоемов и водотоков (озер, рек, ручьев), так как в этом случае обеспечивается подток влаги к промерзающим грунтам по мере их обезвоживания. Выпуклые торфяники распространены широко в озерно-болотных понижениях, а бугры образуют нередко цепочки вдоль берегов рек и ручьев, блуждающих среди заболоченных понижений.

3. Сочетания соседства подозерного талика и формирующегося на заболоченном берегу озера вечномерзлого торфяника еще недостаточно для возникновения бугров с выпуклым льдистым минеральным ядром. Об этом свидетельствуют наблюдения на севере Восточной Сибири и Якутии, где много заболачивающихся озер, под которыми залегают тальные пылеватые суглинки. В процессе их заболачивания образуются не выпуклые, а плоские торфяники, что объясняется промерзанием таликов вдоль берегов зарастающих озер еще до начала зарастания мелководных участков. В этом случае мерзлые торфяники формируются уже не на талом, а на мерзлом субстрате [Тыртиков, 1969]. Данные наблюдения свидетельствуют о том, что миграция влаги со стороны подозерного талика в мерзлый грунт под формирующимся на берегу озера торфяником не может вызвать пучение данного торфяника либо такая миграция вообще не имеет места.

4. Благоприятные условия для формирования выпуклых торфяных массивов создаются не только при заболачивании водоемов, но и при заболачивании суши.

ОБРАЗОВАНИЕ КРУПНОБУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ В ПРОЦЕССЕ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ СУШИ

Формирующиеся на суше вечномерзлые торфяники иногда подстилаются немерзлыми пучинистыми грунтами и окружены со всех сторон таликами или примыкают к таликам, из которых влага поступает под промерзающий грунт по мере его обезвоживания в процессе образования горизонтальных прослоек льда. Благоприятные условия для формирования выпуклых торфяных массивов создаются на участках, где пучинистые грунты под промерзающими торфяниками переслаиваются грубодисперсными (песками), по которым и осуществляется этот подток влаги. Сочетание таких благоприятных условий для формирования выпуклых торфяников мы наблюдали в пойме Оби в окрестностях пос. Азовы.

В пойме Оби на этом участке толщина суглинистых отложений достигает 5 м и больше. Суглинистые отложения переслаиваются и подстилаются песчаными. Плоские обширные пространства высокой поймы покрыты здесь вейниково-осоковыми заболоченными лугами. Они характеризуются обилием кочек высотой до 50 см, диаметром до 30 см, образованных *Carex willuica*, на кочках обилеи вейник (*Calamagrostis langsdorffii*), часто встечаются *Poa trivialis*, *Veronica longifolia*, между кочками — *Carex aquatilis*, *Caltha palustris*, *Comarum palustre*, *Galium palustre*.

Вода между кочками высыхает только в сухие периоды лета, но и в это время грунтовые воды находятся у самой поверхности почвы. Почвы — торфянисто-глеевые либо поверхностно-глеевые между кочками и дерново-глеевые под кочками. Мерзлота на осоково-вейниковых лугах не формируется, так как травостой, достигающий 1,5 м высоты, способствует отложению высокого и рыхлого снегового покрова, под которым почва промерзает обычно не глубже 50 см и сезонномерзлый слой ее протаивает ежегодно полностью. На более повышенных и менее продолжительно затопляемых участках лугов поселяются ивы, сначала на кочках.

Ивняки вейниково-осоковые сменяют вейниково-осоковые луга. Они также сильно заболочены, кочки высотой до 60 см. Ивы (*Salix phylicifolia*, *S. lanata*) образуют редкий (сомкнутость полога 0,3—0,6) ярус высотой до 2,5 м. По мере повышения уровня поймы в результате накопления наилка на кочках поселяются береза (*Betula verrucosa*, *B. pubescens*) и кедр (*Pinus sibirica*), а в межкочьях — сфагновые мхи.

Кедровники сфагновые развиваются на повышенных участках, сменяя ивняки. По мере смыкания крон древостоя осоки отмирают, сфагновые мхи заполняют межкочья, и поселяются кустарнички. Кедровы высотой 5—12 м (диаметр стволов 10—30 см) образуют первый ярус, а березы высотой 3—6 м — второй. Сомкнутость крон — 0,5—0,7. В подлеске изредка ольха (*Alnus fruticosa*), рябина (*Sorbus sibirica*). В первом травяно-кустарничковом ярусе высотой до 30—50 см преобладают касандра (*Cassandra calyculata*, 10—30%), багульник (*Ledum palustre*, 10—20%), часто вейник (*Calamagrostis langsdorffii*). Во втором — высотой до 20 см — господствует морощка (*Rubus chamaemorus*, 30—40%), обильны *Carex globularis*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*. Напочвенный покров почти сплошной, а в нем господствуют *Sphagnum squarrosum* (30—60%), *Sph. girgensohnii* (30—50%), *Polytrichum commune* (20—40%), встречаются *Hylacomium splendens*, *Pleurozium schreberi*. Почва под кедровниками торфяно-глеевая, суглинистая. В результате нарастания мхов, накопления торфа протаивание почвы в кедровниках замедляется, сезонномерзлый слой ее не протаивает полностью летом, сначала формируются перелетки, а затем — вечная мерзлота на глубине 50—80 см. Кедровники сфагновые развиваются в пределах высокой, редко и непродолжительно заливаемой поймы. Формирование вечной мерзлоты под кедровниками вызывает ухудшение почвы: понижение температуры, увеличение влажности, ухудшение аэрации и минерального питания растений, что ведет к угнетению роста, а затем и к изреживанию древостоя.

Кедровники редкостойные сфагновые сменяют заболоченные кедровики. Кедровики имеют диаметр стволов 8—20 см, высоту 3—6 м, узкие

температуры ее и ухудшение аэрации. Рост деревьев угнетается, они изреживаются, образуя вначале редкостойные леса, затем превращаясь в редколесья. В то же время у окраин мерзлых участков продолжается накопление торфа и создаются условия для возникновения вечной мерзлоты. Фронт вечной мерзлоты распространяется в стороны, захватывая сфагновые кедровники. Одновременно кедровники наступают на ивняки, ивняки — на осоково-вейниковые луга. Площадь вечномерзлого торфяника увеличивается. По мере изреживания древостоя в центральных частях торфяника усиливается охлаждение и промерзание грунтов, так как снег слабее задерживается на его выпуклой вершине редким древостоем (табл. 13). Фронт промерзания продвигается вниз. При промерзании суглинков в таких условиях образуются прослойки льда, и поверхность торфяника все более выпучивается.

Так при формировании вечной мерзлоты в пределах высокой поймы Оби на достаточно мощных суглинистых наносах формируются выпуклые торфяники.

О современном происхождении этих торфяников свидетельствует последовательность смен растительного покрова (см. табл. 13), поясное расположение растительных сообществ, сменяющихся во времени, вокруг выпуклой вершины торфяников, строение торфяной залежи, подтверждающей отмеченную последовательность смен растительного покрова; широкое распространение торфяников, верхние части которых покрыты редколесьями на сфагновых болотах, т.е. растительный покров таких торфяников еще не достиг заключительной стадии.

Формирование охарактеризованных торфяников в общем не отличается от образования крупнобугристых торфяников с сильнольдистым минеральным ядром в процессе зарастания водоемов.

Основное отличие первых торфяников заключается в том, что торф состоит в основном из олиготрофных сфагновых мхов и не подстилается торфами переходных и эвтрофных болот; кроме того, высота торфяников меньше (не превышает 5 м), мощность вечной мерзлоты также меньше, чем под крупнобугристыми торфяниками, образовавшимися при заболачивании водоемов.

Состав торфа крупнобугристых торфяников различен. Нами выделены следующие основные типы строения их торфяной залежи.

1. Выпуклые торфяники, мощность торфа которых обычно не превышает 2 м (чаще 1—1,5 м). Торф состоит в верхней части в основном из почти неразложившихся олиготрофных сфагновых мхов, в нижней — из слабо-разложившихся сфагновых и политриховых мхов, нередко с остатками кочек осок и древесины. Торф залегает на выпуклом фундаменте, сложенном голубоватыми пылеватыми суглинками с прослойками льда. Такие торфяники, покрытые редколесьями, формируются в настоящее время в процессе заболачивания суши.

2. Сверху залегает сильноразложившийся коричневый торф (землистая масса) слоем толщиной 50—60 см (сезоннооттаивающий слой), ниже — сфагновый или гипновый с обилием осок, пушиц, хвоща. Толщина этого слоя от нескольких десятков сантиметров до 3—6 м. Торф подстилается пылеватыми суглинками. Такие торфяники возникли давно,

Таблица 13

Изменение глубины протаивания и температуры суглинистых грунтов в процессе смен растительного покрова в притеррасной пойме Оби около пос. Азовы

Стадия развития	Сомкнутость крон	Толщина, см		Глубина протаивания, см	Температура грунтов IX. 1968 на глубине 2 м, °C	Мощность вечной мерзлоты, м
		мохового покрова	торфа			
Вейнико-осоковые луга	Нет	Нет	Нет	Сезонно-мерзлый слой протаивает	Выше 0	Нет
Ивняки вейниково-осоковые	0,4—0,6	Нет	Нет	То же	То же	Нет
Кедровники сфагновые	0,5—0,7	10—15	10—30	50—80	-0,1	Нет
Кедровники редкостойные сфагновые	0,3—0,4	8—12	50—100	40—60	-0,2	<3
Кедровые редколесья на сфагновых болотах	0,1—0,2	5—10	80—150	30—60	-0,4 — -1,3	<10
Кедровые редколесья на сфагново-лишайниковых болотах	0,1—0,2	5—10	100—200	30—60	-0,7 — -1,6	>10

в процессе заболачивания озер, о чем свидетельствует сильная степень разложения торфа в верхней части торфяников. Олиготрофный сфагновый торф полностью разложился; возможно, разложилась и значительная часть торфа переходных болот.

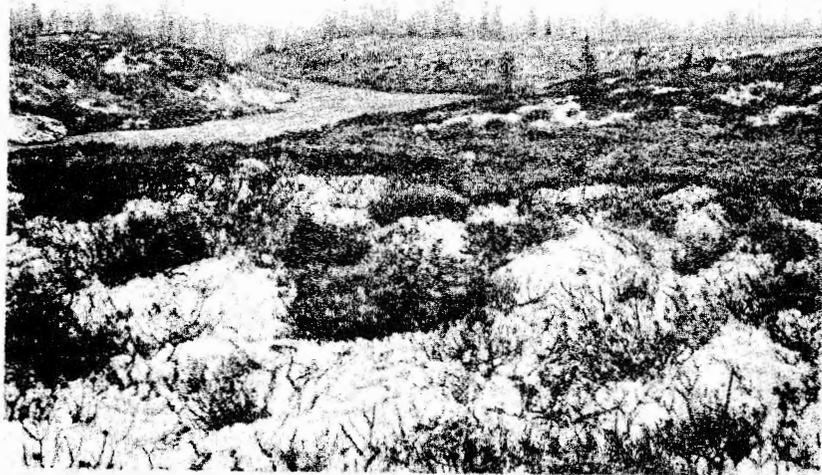
3. Торфяники с неоднородным строением залежи на различных участках. Наиболее повышенные участки сложены сильноразложившимся торфом, подстилаемым слабо-разложившимся торфом низинных и переходных болот с осоками, пушицами, вахтой, сабельником. На их поверхности господствуют лишайники. По мере движения вниз по склону торфяника степень разложения поверхностного слоя торфа уменьшается. В средних частях некрутых склонов торф сверху состоит из олиготрофных сфагновых мхов с остатками кустарничков. Под этим слоем залегают торф, состоящий в основном из мхов переходных, реже — низинных болот, преимущественно сфагновый, реже — гипновый. Поверхность торфяника на таких участках покрыта сфагновыми мхами и лишайниками. Нижние участки склонов сложены сверху почти неразложившимся торфом из олиготрофных сфагновых мхов с кустарничками, толщина его не более 100 см. Под ним залегают торф переходных болот. Состав торфа в понижениях между буграми тот же, что и под олиготрофным слоем на торфяниках. Торфяники такого типа формируются в настоящее время, надвигаясь на водоемы, в то время как верхние части их, сформировавшиеся давно, разрушаются лишайниками, грибами и т.п.

4. Торфяники сложены сверху почти неразложившимся олиготрофным сфагновым торфом и покрыты сфагновыми мхами, лишайников мало. Под слоем олиготрофного торфа с остатками кустарничков и кустарничков и корнями (побегами) растущих на торфянике кустарничков, трав залегают торф, состоящий из сфагнов переходных болот. Такой залежью характеризуются совсем молодые торфяники, формирующиеся в процессе заболачивания водоемов.

Древние крупнобугристые торфяники, торфяные массивы, покрытые кустарничково-лишайниковыми сообществами, характеризующиеся сильно-разложившимся торфом в сезоннооттаивающем слое, существуют, вероятно, уже тысячи лет.

Крупнобугристые торфяники интенсивно выпасаются, так как они сплошь покрыты ягелем и на их поверхности мало снега, поэтому на многих участках растительный покров полностью выбивается, особенно около стоянок оленеводов. 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 еще более глубокому протаиванию торфа. В последующие годы в таких западинках почва протаивает на 90–120 см, и торф оседает. Глубина западинок резко увеличивается, увеличивается соответственно и количество воды в них. Зимой в западинках накапливается больше снега, чем на вершинах торфяника. Когда глубина прогрессивно увеличивающихся западинок достигнет 50 см, слой снега в

них в условиях северной тайги Западной Сибири предохраняет оттаявший за лето слой торфа от полного промерзания. Таким путем между верхней поверхностью вечной мерзлоты и сезоннопромерзающим слоем торфа под западинками образуется талый прослой. В последующие годы сезонномерзлый слой торфа в обводненных западинках протаивает уже полностью в течение части лета, а затем продолжается протаивание вечной мерзлоты под западинками и по берегам их. В результате протаивания мерзлого торфа по берегам западинок начинаются обвалы торфа, обнажаются сильно насыщенные льдом вечномерзлые слои торфа и суглинка, процесс протаивания их ускоряется, западинки расширяются. На поверхности торфяников образуются мелкие водоемы, глубина которых увеличивается по мере протаивания вечномерзлых грунтов под ними. Вначале водоемы имеют правильную, округлую форму, которая по мере расширения и углубления их превращается в овальную. Это изменение формы водоемов — следствие неравномерного распределения снега. Господствующие зимой южные (местами юго-восточные или юго-западные) ветры сносят снег с поверхности торфяника в понижения, занятые термокарстовыми водоемами, в которых он накапливается на склонах южных экспозиций и у оснований этих склонов, а также на склонах северной, северо-западной и юго-восточной экспозиций в большем количестве, чем на склонах, обращенных на запад или восток. Вследствие этого наименьшее промерзание почвы наблюдается на склонах, сильнее заносимых снегом; около их оснований больше воды образуется после таяния снега. В результате на этих склонах вечная мерзлота протаивает более интенсивно, и термокарстовые западины на торфяниках постепенно вытягиваются в южном и северном направлении. Термокарстовые процессы происходят и на склонах других экспозиций, но менее интенсивно. Расширение и удлинение таких западин происходит быстро и часто наблюдается на территории северной тайги Западной Сибири и южной лесотундры. Удлинение западин ограничивается размерами торфяника, а углубление происходит до тех пор, пока не протает весь грунт, дающий осадку. Наконец, один берег термокарстового понижения достигает края торфяника, вода из водоема стекает в окружающие торфяник озерно-болотные понижения, а на месте вытянутого водоема образуется овраг, берега которого сложены торфом. Термокарстовый процесс на берегах оврага постепенно затухает, так как после стока воды прогревание грунтов на дне оврага уменьшается, зимой же склоны оврага промерзают сильно, ибо с них сносится снег. Обвалы торфа прекращаются, и склоны оврага зарастают кустарничками, мхами, лишайниками. Лишь на берегу оврага, противоположном его устью (северному или южному), продолжается процесс термокарста, так как там накапливается много снега. Процесс термокарста длится до тех пор, пока овраг не достигнет противоположного его устья края торфяника. Так вечномерзлый торфяник расчленяется в процессе термокарста на отдельные останцы, вытянутые в северо-южном направлении. Понижения между останцами, вытянутые в том же направлении, нередко соединяются и образуют общую дренажную сеть. Наличие вытянутых в северо-южном, юго-восточном и северо-западном направлениях останцов торфяников и понижений



Р и с. 26. Выпуклый торфяной массив, расчлененный термокарстовыми понижениями, в районе Игарки

между ними характерно для северной тайги и южной лесотундры Западной Сибири (рис. 26).

Вытянутые в одном направлении бугры и понижения между ними нередко вводили исследователей в соблазн приписать эрозионному процессу решающую роль в расчленении торфяников [Кihlman, 1890]. Необоснованность эрозионной теории формирования торфяных бугров достаточно полно показана в ряде работ [Кац, 1956; Константинова, 1958; Попов, 1953]. Ничтожное значение эрозии в расчленении мерзлых торфяников признают почти все исследователи.

Особенно интенсивно разрушаются торфяные бугры и массивы после пожаров. На повышениях микрорельефа, где торф более сухой, он выгорает глубже, чем в более увлажненных понижениях. В результате после пожара образуются углубления на поверхности торфяника, заполняющиеся водой, и грунт в них глубоко протаивает и дает осадку. Нередко при повторных пожарах на вершинах и крутых склонах сухой торф выгорает полностью и обнажается льдистый минеральный грунт, быстро протаивающий и дающий значительную осадку. На сильно выгоревших участках через несколько лет после пожара образуются термокарстовые водоемы, расчленяющие торфяник на отдельные бугры — останцы. Нередко после пожаров вечномерзлые торфяники полностью разрушаются, и на их месте возникают мелкие водоемы или болота.

Торфяники, на которых растительный покров и торф не нарушены, обычно не разрушаются. Однако на вершинах крупных бугров торф медленно разрушается различными природными агентами, разлагаясь грибами, выбивается оленями и т.п. Верхняя поверхность вечной мерз-

лоты постепенно понижается по мере уменьшения слоя торфа. После того как толщина торфяного слоя станет меньше глубины сезонного протаивания (50—60 см), начинается протаивание сильнольдистых минеральных грунтов под торфом. В результате образуются просадки поверхности торфяника, затем западины с водой, и начинается обычное разрушение торфяника термокарстом. Это очень длинный процесс естественной деградации торфяников.

Озера и болота, образовавшиеся на месте разрушенных термокарстовыми процессами вечномерзлых торфяников, вновь зарастают. В процессе их зарастания снова неизбежно формируются вечномерзлые торфяники. Формирование и деградация мерзлых торфяников обычно протекают одновременно на одном и том же озерно-болотно-торфяном массиве.

Крупнобугристые торфяники образуют особую зону, южная граница которой совпадает с южной границей островной вечной мерзлоты, а северная — с южной границей сплошной вечной мерзлоты. В пределах этой зоны крупнобугристые торфяники образуются только в особых условиях, сочетание которых наблюдается далеко не везде. Вследствие этого даже в пределах Западной Сибири, где крупнобугристые торфяники широко распространены, они занимают намного меньшую площадь, чем плоские и плоскобугристые торфяники. К востоку от Енисея крупнобугристые торфяники встречаются редко из-за малого распространения пучинистых (суглинистых) грунтов вообще и в особенности под промерзающими торфяниками.

В Западной Сибири древние крупнобугристые торфяники не найдены в северной лесотундре и южной тундре, что свидетельствует о том, что, по-видимому, к северу от южной лесотундры вечная мерзлота была сплошной в течение всего послеледникового времени. Данное положение не согласуется с выводом Н.Я. Кац [1939, 1946] о том, что обледененные торфяники в районе Нового Порта существовали в период, когда не было вечной мерзлоты в торфе, а также с выводами о том, что в период климатического оптимума граница сплошной вечной мерзлоты была смещена к северу до 68° с.ш. на Ямале и до 70° с.ш. в приенисейской части низменности [Баулин и др., 1967], ибо в этот период в области несплошной вечной мерзлоты на территории современной южной тундры и северной лесотундры неизбежно должны были бы образоваться крупнобугристые торфяники.

Крупнобугристые торфяники представляют собой комплекс выпукловершинных вечномерзлых торфяно-минеральных бугров высотой от 2 до 12 м и озерно-болотных понижений. Минеральное ядро в таких буграх выпуклое и сильнольдистое. Размеры и форма бугров разнообразны.

Такие бугры возникают в процессе пучения грунтов при их промерзании с подтоком влаги из таликов, окружающих промерзающие торфяники или примыкающих к ним.

Развитие растительности — важнейший фактор формирования таких бугров, так как только развитие растительного покрова в процессе заболачивания водоемов и суши создает благоприятные условия для промерзания грунтов под торфом и для их пучения, в процессе которого и образуются выпукловершинные торфяные бугры (массивы) с сильнольдистыми выпуклыми минеральными ядрами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полигональные пятнистые тундры, полигональные болота, плоскобугристые и крупнобугристые торфяники — характерные образования области вечной мерзлоты. Их развитие определяется всей совокупностью природных условий этой области, среди которых динамика растительного покрова — главный фактор формирования и развития полигональных пятнистых тундр, полигональных болот и крупнобугристых торфяников.

В процессе исследования закономерностей развития этих образований уточнены районы их распространения, выяснена приуроченность их к соответствующим ландшафтным зонам, показано их палеогеографическое значение и т.д.

На основе анализа закономерностей развития данных форм рельефа можно прогнозировать направление и скорость их развития.

Выяснено также существенное значение изученных форм рельефа для индикации состава и свойств грунтов, условий дренажа, рельефа, направления мерзлотных процессов и т.п.

Полигональные пятнистые тундры служат индикатором рыхлых пылеватых суглинистых, реже пылеватых супесчаных или мелкопесчаных грунтов.

Полигональные пятнистые тундры служат показателем дренированных, ветрообдуваемых, малоснежных участков, характеризующихся наиболее низкими температурами мерзлых грунтов. Эти участки на севере Западной Сибири и на других равнинах Севера с мощным покровом рыхлых грунтов наиболее пригодны для строительства всякого рода сооружений, возводимых по принципу "сохранения вечной мерзлоты".

Полигональные болота служат индикатором слабодренированных грунтов. Наличие таких болот в поймах рек свидетельствует о накоплении или консервации полигонально-жильных льдов.

Полигональные болота на древних террасах и междуречьях севера Западной Сибири — индикаторы древних торфяников, в которых полигонально-жильные льды вытаяли или вытаивают. На торфяниках, примыкающих к таким болотам, чаще всего можно обнаружить погребенные древние полигонально-жильные льды.

Плоскобугристые торфяники — индикаторы древних торфяников, в которых полигонально-жильные льды вытаяли. Плоские торфяные бугры, разделенные широкими понижениями-мочажинами, а также расположенные одиночно или группами среди озерно-болотных понижений, — свидетельство современного термокарстового процесса.

Полигональные болота — индикаторы сильнольдистых просадочных грунтов, непригодных для возведения сооружений.

Крупнобугристые торфяники — индикаторы сильнольдистых и чрезвычайно просадочных грунтов, непригодных для возведения сооружений и сельскохозяйственного использования.

Торфяные бугры с обрывистыми берегами, на которых видны обнажения обнаженного торфа, служат показателями интенсивных современных термокарстовых процессов.

Полигональные пятнистые тундры, полигональные болота, плоскобугристые и крупнобугристые торфяники легко распознаются на аэрофотоснимках и при визуальном наблюдении, поэтому они могут быть использованы как признаки состава и свойств грунтов, условий дренажа местности, рельефа, мерзлотных процессов при инженерно-геологических, ботанико-географических и других исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

- Аболин Р.И.* Постоянная мерзлота грунтов и ископаемый каменный лед. — Записки Читинск. отд. Приамурского отдела Русского геогр. об-ва, 1913, вып. IX, с. 19—108.
- Абрамова А.Л., Савич-Любичка Л.И., Смирнова З.И.* Определитель Листостебельных мхов Арктики СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961.
- Александрова В.Д.* О подземной структуре некоторых растительных сообществ арктической тундры на о. Большой Ляховский. — Проблемы ботаники, 1962, вып. 6, с. 148—160.
- Александрова В.Д.* Очерк флоры и растительности острова Большого Ляховского. — Труды/Арктический и Антарктический ин-т, 1963, т. 224, с. 6—36.
- Александрова В.Д.* Изучение смен растительного покрова. — В кн.: Полевая геоботаника, М.: Наука, 1964, т. 3, с. 300—447.
- Александрова В.Д.* Динамика мозаичности растительных сообществ пятнистых тундр в арктической Якутии. — В кн.: Мозаичность растительных сообществ и ее динамика. Владимир, Министерство просвещения РСФСР, 1970, с. 5—30.
- Александрова В.Д.* Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977.
- Андреев В.Н.* Растительность тундры Северного Канина. — В кн.: Оленьи пастбища Северного края. Архангельск: Изд-во севкрайгосторга, 1931, с. 5—85.
- Андреев В.Н.* Кормовая база Ямальского оленеводства. — Советское оленеводство, 1934, вып. 1.
- Андреев В.Н.* Обследование тундровых оленьих пастбищ с помощью самолета. — Труды/Научно-исслед. ин-т полярного земледелия, животноводства и промышленного хоз-ва, серия оленеводство, 1938, вып. 1, с. 7—32.
- Баулин В.В., Белопухова Е.Б., Дубиков Г.И., Шмелев Л.М.* Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности. М.: Наука, 1967.
- Белопухова Е.Б.* Многолетние бугры пучения в бассейне р. Ярудей. — Труды/Ин-т мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР, М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- Бунге А.* Описание путешествия к устью реки Лены в 1881—1884 гг. — Труды/Русская полярная станция на устье Лены, 1895, I. Приложение.
- Вторин Б.И.* Повторно-жильные льды и жильно-полигональный рельеф в долине р. Яны. — В кн.: Материалы VIII междуведомственного всесоюзного совещания по геокриологии (мерзлотоведению). Якутск: книжн. изд-во, 1966, вып. 6, с. 14—23.
- Говорухин В.С.* Пятнистые тундры в горах Северного Урала. — Землеведение, 1936, т. 38, вып. 2, с. 153—161.
- Говорухин В.С.* Пятнистые тундры и пликвативные почвы Севера. — Землеведение, 1960, т. 3, с. 123—144.
- Городков Б.Н.* Полярный Урал в верхнем течении реки Соби. — Труды/Ботанический музей АН СССР, 1926, вып. 19, с. 1—74.
- Городков Б.Н.* Крупнобугристые торфяники и их географическое распространение. — Природа, 1928, № 6, с. 599—601.
- Городков Б.Н.* Почвы Гыданской тундры. — Труды/Полярная комиссия АН СССР, 1932а, вып. 7, с. 1—78.
- Городков Б.Н.* Вечная мерзлота в северном крае. — Труды/Совет по изучению производительных сил АН СССР, серия северная, 1932б, вып. 1, с. 5—109.
- Городков Б.Н.* Растительность тундровой зоны СССР, М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1935.
- Городков Б.Н.* Об особенностях почвенного покрова Арктики. — Известия Всесоюз. географ. об-ва, 1939, т. 71, вып. 10, с. 1516—1532.
- Городков Б.Н.* Движение растительности на севере лесной зоны Западно-Сибирской низменности. — В кн.: Проблемы физической географии, 1946, вып. 12, с. 81—105.
- Городков Б.Н.* Морозная трещиноватость грунтов на Севере. — Известия Всесоюз. географ. об-ва, 1950, т. 82, вып. 5, с. 487—500.
- Городков Б.Н.* Растительность и почвы о. Котельного. — В кн.: Растительность Крайнего Севера СССР и ее освоение. М.: Изд-во АН СССР, 1956, вып. 2, с. 7—127.
- Городков Б.Н.* Почвенно-растительный покров острова Врангеля. — В кн.: Растительность Крайнего Севера СССР и ее освоение. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1958, вып. 3, с. 5—58.
- Григорьев А.А.* Типы тундрового микро рельефа субарктической Евразии, их географическое распространение и генезис. — Землеведение, 1925, т. 37, вып. 1,2, с. 5—24.
- Гусев А.И.* Тетрагональные грунты в арктической тундре. — Известия Всесоюз. географ. об-ва, 1938, т. 70, вып. 3, № 3, с. 377—385.
- Домбровская А.В., Шляков Р.Н.* Лишайники и мхи севера Европейской части СССР. Л.: Наука, 1967.
- Достовалов Б.Н.* О физических условиях образования морозобойных трещин и развития трещинных льдов в рыхлых породах. — В кн.: Исследования вечной мерзлоты в Якутской республике. М.: Изд-во АН СССР, 1952.
- Достовалов Б.Н.* Закономерности развития тетрагональных систем ледяных и грунтовых жил в дисперсных породах. — В кн.: Перигляциальные явления на территории СССР. Изд-во МГУ, 1960, с. 37—65.
- Достовалов Б.Н., Кудряцев В.А.* Общее мерзлотоведение. Изд-во МГУ, 1967.
- Драницын Д.А.* О некоторых зональных формах рельефа Крайнего Севера. — Почвоведение, 1914, № 4, с. 21—68.
- Иванова Е.Н.* Некоторые закономерности строения почвенного покрова в тундре и лесотундре Обской губы. — В кн.: О почвах Урала, Западной и Восточной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 49—116.
- Иванова Е.Н., Польшинцев О.А.* Почвы Воркутских тундр. — Труды/Филиал Коми АН СССР, серия географ., 1952, вып. 1. Сыктывкар.
- Игнатенко И.В., Норин Б.Н.* Динамика пятнистых тундр восточноевропейского Севера. — Проблемы ботаники, 1969, т. 11, с. 72—90.
- Игнатенко И.В., Норин Б.Н., Дружина В.Д.* О зональных особенностях пятнистых тундр северо-востока Европейской части СССР. — В кн.: Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар, 1970.
- Каравеева Н.А.* Тундровые почвы северной Якутии. М.: Наука, 1969.
- Каравеева Н.А., Полтева Р.Н.* Циклы пятнообразования в почвах лесотундры и тундры. — В кн.: Растительность лесотундры и пути ее освоения. М.: Наука, 1967, с. 151—156.
- Катасонов Е.М.* Ледяные жилы и причины изгибания слоев в рыхлых четвертичных отложениях. — В кн.: Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1958, вып. 4.
- Кац Н.Я.* О динамике вечной мерзлоты в низовьях Оби в послеледниковое время. — Бюллетень МОИП, 1939, отд. биол., т. 48, № 2—3, с. 19—28.
- Кац Н.Я.* Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М.: Гос. изд-во географ. литературы, 1948.
- Кац Н.Я., Кац С.В.* История растительности болот севера Сибири как показатель изменения послеледникового ландшафта. — Труды/Ин-т географии, 1946, вып. 37, с. 330—348.
- Кац Н.Я., Пьявченко Н.И.* Бугристые торфяники. — Бюллетень МОИП, отд. биол., т. 61, № 3, 1956, с. 98—101.
- Константинова Г.С.* О бугристом рельефе торфяников на Кольском полуострове. — Труды/Ин-т мерзлотоведения им. В.А. Обручева, 1953, т. 13. М.: Изд-во АН СССР.
- Константинова Г.С.* О развитии некоторых форм тундрового микро рельефа. — Известия АН СССР, 1956, серия географ., № 3.

- Константинова Г.С. О криогенных образованиях в районе Большого Хантайского порога. — В кн.: Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
- Кошелева И.Т., Новичкова Л.Н. О пятнистых тундрах Западной Сибири и их альгофлоре. — Бот. журн., 1958, т. 43, № 10, с. 1478—1485.
- Крылов П.Н. Флора Западной Сибири. Изд. Томск. бот. отдел. Всеросс. об-ва естествоиспыт., 1929—1951. Ч. 1—11.
- Кузнецов Н.И. Лайды в низовьях р. Енисея, их строение, образование и место в классификационной схеме болотно-лесных образований. — Труды/Полярная комиссия АН СССР, 1932, вып. 12, с. 5—40.
- Ливеровский Ю.А. Почвы тундр Северного края. — Труды/Полярная комиссия АН СССР, 1934, вып. 19, с. 5—112.
- Миддендорф А.Ф. Путешествие на север и восток Сибири. СПб., 1862.
- Обручев С.В. Шахматные (ортогональные) формы в областях вечной мерзлоты. — Известия Всесоюз. географ. об-ва, 1938, № 6.
- Пархоменко С.Г. Некоторые данные о природе Нижне-Ленского края. — Труды/Комиссия по изучению Якутской АССР, 1929, вып. III, с. 206—246.
- Полынцева О.А., Иванова Е.Н. Комплексы пятнистых тундр Хибинского массива и их эволюция в связи с эволюцией почвенного и растительного покрова. — Труды/Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1936, т. 13, с. 213—265.
- Попов А.И. Вечная мерзлота в Западной Сибири и ее изменение в четвертичный период. — Мерзлотоведение, 1947, т. 2, № 2.
- Попов А.И. Морозобойные трещины и проблема ископаемых льдов. — Труды/Ин-т мерзлотоведения им. В.А. Обручева, 1952, т. 9.
- Попов А.И. Вечная мерзлота в Западной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1953.
- Попов А.И. Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). Изд-во МГУ, 1967.
- Пьявченко Н.И. Бугристые торфяники. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
- Ревертатто В.В. Морфология и растительность пятнистой тундры арктической и альпийской области Сибири. — Известия Томск. отд. гос. Русск. бот. об-ва, 1931, т. III, № 1—2.
- Савич Л.И., Ладыженская К.М. Определитель печеночных мхов севера Европейской части СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936.
- Самбук В.Ф., Дедов А.А. Подзоны припечорских тундр. — Труды/Бот. ин-т, 1933, серия III, а. 29—52.
- Солоневич Н.Г. Численность и фитомасса сфагновых мхов в болотных сообществах восточноевропейской лесотундры. — В кн.: Продуктивность биоценозов Субарктики. Свердловск, 1970.
- Сочава В.Б. О пятнистых тундрах Анадырского края. — Труды/Полярная комиссия АН СССР, 1930, вып. 2, с. 51—68.
- Сочава В.Б. Тундровые формы микрорельефа в Приамурье. — Природа, 1944, № 5—6, с. 107—109.
- Сукачев В.Н. К вопросу о влиянии мерзлоты на почву. — Известия АН СССР, 1911, т. 5, № 1.
- Сумгин М.И. К вопросу о вечной мерзлоте в торфяных буграх на Кольском полуострове. — Труды/Комиссия по изучению вечной мерзлоты, 1934, т. 3.
- Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937.
- Сумгин М.И. Еще несколько слов о вечной мерзлоте в торфяных буграх на Кольском полуострове. — Труды/Комиссия по изучению вечной мерзлоты, 1938, т. 6.
- Суходровский В.Л. Повторно-жильные льды и полигональные формы рельефа в перигляционной зоне Земли Франца-Иосифа. — В кн.: Вопросы криологии при изучении четвертичных отложений. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- Танфильев Г.И. Пределы лесов в Полярной России по исследованиям в тундре Тиманских самоедов. Одесса, 1911.
- Тихомиров Б.А. Динамические явления в растительности пятнистых тундр Арктики. — Бот. журн., 1957, т. 42, № 1, с. 1691—1717.
- Тыртиков А.П. Растительность низовьев Яны. — Бюллетень МОИП, 1955, т. 60, № 5.
- Тыртиков А.П. Формирование и развитие крупнобугристых торфяников в северной тайге Западной Сибири. — В кн.: Мерзлотные исследования. Изд-во МГУ, 1966, вып. 6.
- Тыртиков А.П. Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов. Изд-во МГУ, 1969.
- Тыртиков А.П. Динамика растительного покрова и развитие вечной мерзлоты в Западной Сибири. Изд-во МГУ, 1974.
- Тютюнов И.А. Возникновение и развитие мелкобугристого микрорельефа тундры. — Труды АН СССР/Ин-т мерзлотоведения им. В.А. Обручева, 1953, т. 12.
- Фигурин А.Е. Замечания медико-хирурга Фигурина о разных предметах естественной истории и физики, учиненных в Усть-Янске и окрестностях онога в 1822 г. — Сибирский вестник Гр. Спасского, ч. IV. СПб., 1823.
- Цинзерлинг Ю.Д. География растительного покрова Северо-Запада Европейской части СССР. — Труды/Ин-т географии, 1934, вып. 4.
- Цытович Н.А. Принципы механики мерзлых грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1952.
- Цыпленкин Е.И. Почвенно-агрономические исследования на Крайнем Севере. — Труды/Всесоюз. научно-исслед. ин-т удобрений, агротехники и агропочвоведения им. К.К. Гедройца. Изд-во ВАСХНИЛ, 1937, т. 19.
- Шренк А. Путешествие к северо-востоку Европейской России через тундры самоедов к северным Уральским горам. СПб. 1855.
- Шумилова А. О бугристых торфяниках южной части Туруханского края. — Известия Томск. отд. Русского бот. об-ва, 1931, т. 3, № 1—2.
- Шумский П.А. Исследование полигональных льдов Центральной Якутии. — В кн.: Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, 1952, вып. 3. М.: Изд-во АН СССР.
- Шумский П.А. Основы структурного ледоведения. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
- Шумский П.А. К вопросу о происхождении жильного подземного льда. — Ин-т мерзлотоведения им. В.А. Обручева, 1960, т. 16.
- Baer C. Vegetation et climat de Novaia-Zemlia. — Bull. sci. publie par l'Academie imp. des sciences de St-Petersbourg, III. 1838, p. 171—192.
- Bunge A. Einige Worte zur Bodeneisfrage. — Записки СПб. минерал. об-ва, 1903, 40, № 8.
- Crocker R.L., Major J. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. — J. ecol., 1955, v. 43, N 2, p. 427—448.
- Gignaux M.I. Les sols polygonaux dans les Alpes et la genese des sols polares. — Annales de Geographie, 1931, N 228.
- Kihlman A.O. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. — Helsingfors, 1890.
- Kjelman F.R. Über den Pflanzenwuchs an der Nordküste Sibiriens. Die wissenschaftliche Ergebnisse der Vega-Expedition. Leipzig, 1883.
- Leffingwell E. Ground ice wedges the dominant form ground ice on the north coast of Alaska. — J. Geol., 1915, v. 23, N 7.
- Leffingwell E. The Canning River region Northern Alaska. Dept. of the Interior U.S. Geol. Survey, Press Paper 109. Washington, 1919.
- Taber S. Frost Heaving. J. Geol., 1929, v. 37, N 5.
- Taber S. The mechanics of frost heaving. — J. Geol., 1930, v. 38, N 4.
- Tisdale E.W., Fosberg M.A., Poulton C.E. Vegetation and soil development on a recently glaciated area near mount Robson, British Columbia. — Ecology, 1966, v. 47, N 4, p. 517—523.
- Schrenk A.G. Reise nach dem Nordosten des europäischen Russlands. Dorpat, 1848.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
1. Развитие полигональных пятнистых тундр	7
Подзона арктических тундр	16
Зона полярных пустынь	28
Подзона лишайниково-моховых тундр	32
Подзона кустарниковых тундр	44
2. Динамика полигональных болот	57
Образование полигональных болот в связи с формированием полигонально-жильных льдов	58
Образование полигональных болот после вытаивания полигонально-жильных льдов в торфяниках	70
Формирование плоскобугристых торфяников	79
3. Развитие крупнобугристых торфяников	85
Образование крупнобугристых торфяников в процессе заболачивания водоемов	92
Образование крупнобугристых торфяников в процессе заболачивания суши	100
Заключение	110
Литература	112

Алексей Павлович Тыртиков

ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И РАЗВИТИЕ
МЕРЗЛОТНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

Утверждено к печати Московским обществом испытателей природы

Редактор издательства Г.В. Красильникова.

Худож. редактор Н.Н. Власик. Техн. редактор Т.В. Чистова.

ИБ № 16163

Подписано к печати 20.03.79. Т — 02980. Формат 60x90 1/16. Бумага офс. № 1
Усл.печ.л. 7,3. Уч.-изд.л. 8,1. Тираж 700 экз. Тип. зак. 18 Цена 1 р. 20 к.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 94а;
Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука",
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

69

1 р. 20 к.