

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ВЫСОКОЙ АРКТИКЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

© 2020 г. И. С. Михайлов*

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, Москва, 119017 Россия

*e-mail: is-mikhaylov@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.05.2019 г.

После доработки 27.10.2019 г.

Принята к публикации 27.12.2019 г.

Изучение процессов изменения почвенно-растительного покрова необходимо при планировании объектов инфраструктуры: газопроводов и нефтепроводов, дорог, линий электропередач, чтобы избежать негативных последствий, а также сохранить легкоранимые экосистемы. Изменение почвенно-растительного покрова в Высокой Арктике Восточной Сибири в настоящее время происходит по пути его усложнения. Хаотические россыпи щебня, лишённые растительности, эволюционируют в каменные многоугольники с “зародышами” почв и островками растительности. Грунты, освобождаясь из-под ледника, переходят от стадии локального поселения растительности и слабо-развитых почв, к стадии мозаичного растительного покрова с языковатыми почвами, затем эволюционируют в почвенно-растительные комплексы с континуальным покрытием растительностью и почвенным покровом с преобладанием дерновых арктических почв. Талые воды ледников и снежников влияют на изменение почвенно-растительного покрова. Они насыщают грунты влагой и могут производить текстурную дифференциацию грунтов. Изменение почвенно-растительного покрова на территориях распространения полигональных жильных льдов носит специфический характер. Полигональные жильные льды развиваются в условиях пойменного режима, образуя тетрагональные комплексы моховой и мохово-злаковой тундры с глееземами и торфянистыми почвами на ледяных жилах. При выходе из пойменного режима начинается деградация ледяных жил, на их месте появляются озёрки. Заболоченные тетрагоны сменяются мезофильной разнотравно-злаковой тундрой с глееватыми почвами. В условиях хорошего дренажа эта стадия переходит в стадию бугров-байджарахов. После разрушения байджарахов возникает бугристая злаково-разнотравная тундра с тундровыми дерновыми почвами.

Ключевые слова: арктические почвы, полигонально-жильные льды, каменные многоугольники, тундровые дерновые почвы

DOI: 10.31857/S0032180X20060088

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время идет интенсивное освоение Российской Арктики – региона, имеющего стратегическое значение и обладающего огромными запасами минеральных ресурсов. Указом президента РФ В.В. Путина выделена Арктическая административная зона опережающего развития. При освоении Арктики требуется особое внимание экологическим проблемам, поскольку природная среда, обладает большой динамичностью.

В основу данной статьи положены полевые исследования автора в 1955–1960 гг. на архипелагах морей Северного Ледовитого океана в Восточной Сибири, анализ разновременных аэрофотоснимков и космических материалов. Обобщены материалы исследователей почвенного покрова и растительности островов Российской Арктики.

Проблемы эволюции почвенно-растительного покрова Арктики были рассмотрены в трудах Городкова [3, 4] и Александровой [1]. Большое внимание этой проблеме посвятил американский исследователь Аляски Тедру [20], рассмотревший возможные изменения арктических почв Аляски в зависимости от изменения экологических условий. Элементы эволюции почв на полуострове Таймыр рассмотрены в работе Васильевской [2]. Большое внимание эволюции почв тундры уделено Каравевой [7]. Проблемы изменения почв европейской части арктической зоны рассматриваются в работе Горячкина [5]. Изучены почвенно-растительные комплексы арктической зоны Шпицбергена [18], Гренландии [17], Канады [19].

Климат в Арктике в течение голоцена развивался циклически. Максимальное потепление произошло в атлантическое время, когда почвен-

но-растительные зоны смещались к северу, о чем говорит наличие реликтовых торфяников на Таймыре и Новосибирских островах. Последующее похолодание климата вызвало отступление почвенно-растительных зон до их современных границ. В XX в. в Арктике наблюдалось потепление климата, выраженное в повышении температуры воздуха и воды Северного Ледовитого океана, отступанием ледников. Периодически этот процесс замедлялся [17]. В конце XX и начале XXI вв. потепление усилилось, о чем свидетельствует интенсивное таяние ледниковых покровов на архипелагах Ледовитого океана.

Потепление в Арктике сопровождается усилением циклонической деятельности, вызывающим увеличение количества осадков, скорости ветров, что обуславливает неравномерность распределения снежного покрова. С положительных форм рельефа снег сдувается, накапливаясь в отрицательных формах, что во многом определяет мозаичность почвенно-растительного покрова Арктики.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были почвенно-растительные комплексы в арктической зоне на островах морей Северного Ледовитого океана. Исследования проводили на плато и в межгорных котловинах центральной части о. Большевик, архипелаг Северная Земля, у южного края ледника Ленинградский (78°30' N, 103° E) и на морских террасах в южной части этого острова вдоль берега пролива Вилькицкого. Изучение изменения почвенно-растительного покрова проводили при сравнительном анализе характера поверхностей, освобождающихся от ледникового покрова в разное время.

Почвенно-растительные комплексы районов распространения полигональных жильных льдов изучали в северной части о. Фаддеевский на Новосибирских островах (75° N, 144° E). Изучение эволюции почвенно-растительного комплекса проводили путем сравнения особенностей строения пойм рек и речных террас.

В центральной части о. Большевик можно выделить ландшафты, примыкающие к ледниковому щиту Ленинградский, которые подвергаются воздействию талых вод ледников. Изучение развития этих ландшафтов проводилось в центральной части о. Большевик у южного края ледникового щита Ленинградский в верховьях рек Шумной и Лагерной, впадающих в пролив Вилькицкого.

В отличие от горных ледников Альп и Кавказа ледниковые щиты арктической зоны являются холодными. Таяние льда происходило с 10 июля по 20 августа только на поверхности ледника. Интенсивность таяния определялась не только положительными температурами воздуха, но и пря-

мой солнечной радиацией. Талые воды текут по поверхности ледникового щита тонкой сплошной пленкой. Если край ледника выходит на плато, покрытое щебнем плотных осадочных пород, то потоки талых ледниковых вод растекаются по поверхности щебня. Под водной пленкой на поверхности щебня развиваются водоросли или микроорганизмы, которые наблюдаются в виде слизи на поверхности щебня. Вероятно, что результатом их деятельности является бурая плотная корочка на поверхности щебня. Толщина красновато-бурой корочки может достигать 5–6 мм, в нее могут быть включены зерна кварца. На повышенных участках плато, куда не попадали талые воды ледников, красновато-бурых корочек на поверхности щебня не обнаружено. Подобные железистые корочки были найдены на периферии Антарктического ледяного щита [11].

Если край ледникового щита выходит на поверхность, сложенную рыхлыми породами, то талые ледниковые воды дифференцируют гранулометрический состав поверхностных слоев грунта. Исследования проводились у южного края ледника Ленинградского в древнеозерной котловине, где озерные ленточные глины перекрыты морской — бурый суглинком с включениями валунов и хряща.

Как только ледниковые воды попадают на поверхность грунта, они становятся мутными, вымывая из него тонкие частицы. По мере движения от края ледника энергия потоков талых вод уменьшается, и тонкие частицы осаждаются на поверхности, формируя слой более тяжелого гранулометрического состава. Возникают текстурно-дифференцированные грунты. Ширина зоны трансформации верхней части грунта варьирует в зависимости от интенсивности таяния льда и уклона местности. Она постоянно смещается по мере таяния ледникового щита. В районе исследования она составляла 100–200 м. В зоне, примыкающей с юга к ледниковому щиту Ленинградский, формируются грунты с текстурной дифференциацией верхних горизонтов. В качестве примера рассмотрим разрез, заложенный в 150 м к югу от края ледникового щита Ленинградский в верховьях р. Шумной на поверхности, не имеющей растительности.

I, 0–5 см. Средний суглинок, светло-бурый, слоистый, уплотнен, переход заметный.

II, 5–10 см. Супесь, с включением мелких кварцевых кристаллов, палевый, слабо уплотнен, переход резкий, неровный.

III, 10–20 см. Тяжелый суглинок с включением хряща и обломков твердых пород, красновато-бурый, плотный.

IV, 20 см и глубже. Тот же суглинок мерзлый, слабо льдистый.

Текстурная дифференциация, наличие отмытых зерен кварца в слое II возникают в зонах воздействия талых вод ледника, могут сохраняться в почвах длительное время. Признаки текстурной дифференциации могут проявляться в почвах районов четвертичного оледенения.

В зоне воздействия талых вод ледников большие площади поверхности занимают колонии сине-зеленых водорослей *Nostocales* в виде черных пленок размерами от нескольких см² до 1 м².

К югу от ледника Ленинградского располагаются плато высотой 250 м, сложенное метаморфическими породами. Поверхность его ровная, покрыта щебнистым элювием метаморфических пород. Талые воды ледника каскадами спадают с плато в долину р. Лагерной. На поверхности плато можно наблюдать, как по мере отдаления от ледника происходит мерзлотная дифференциация щебня. Более крупные обломки оттесняются на периферию полигонов, образуя сеть каменных многоугольников диаметром 0.8–1.5 м. Ячейки сети заполнены мелким щебнем, окружающим “гнезда” мелкозема в центре. На “гнездах” поселяются мхи и цветковые растения, среди которых преобладают камнеломки и злаки: *Saxifraga cernua*, *S. oppositifolia*, *Phippsia algida*.

Под растительностью формируются языки примитивных почв горизонтами: О – подстилка и А – гумусовый, клинообразный, максимальной мощностью 5 см, коричневато-бурый, супесчаный. В этом горизонте может содержаться до 3% гумуса. Почвенно-растительный комплекс центра каменного многоугольника устойчив. Экспансии растительности препятствует щебень каменного многоугольника. Поверхность озерной котловины расчленена притоками р. Шумной, впадающей в бухту Солнечная. В северной части котловины водоразделы между притоками лишены растительности за исключением пленок сине-зеленых водорослей *Nostocales*. Летом грунт просыхает и разбивается трещинами усыхания на полигоны, напоминающие такры.

Постепенно эти поверхности начинают заселяться растительностью. Пионерами являются злаки: *Phippsia algida*, *Poa alpigena*, полярные маки *Papaver polare* и другие цветковые растения, поселяющиеся в узлах трещин. Под ними формируется дернина, на которой развиваются мхи. Под куртинами растительности формируются почвенные языки с горизонтами:

Разрез 36М (78°22'67" N, 103°12'04" E). Северная часть древнеозерной котловины в верховьях р. Шумная о. Большевик. Плоская равнина, разбитая трещинами усыхания. Растительность образует отдельные куртины по узлам трещин. Покрытие 10–15%. Разрез заложен под куртиной растительности.

О, 0–1 см. Оторфованная подстилка.

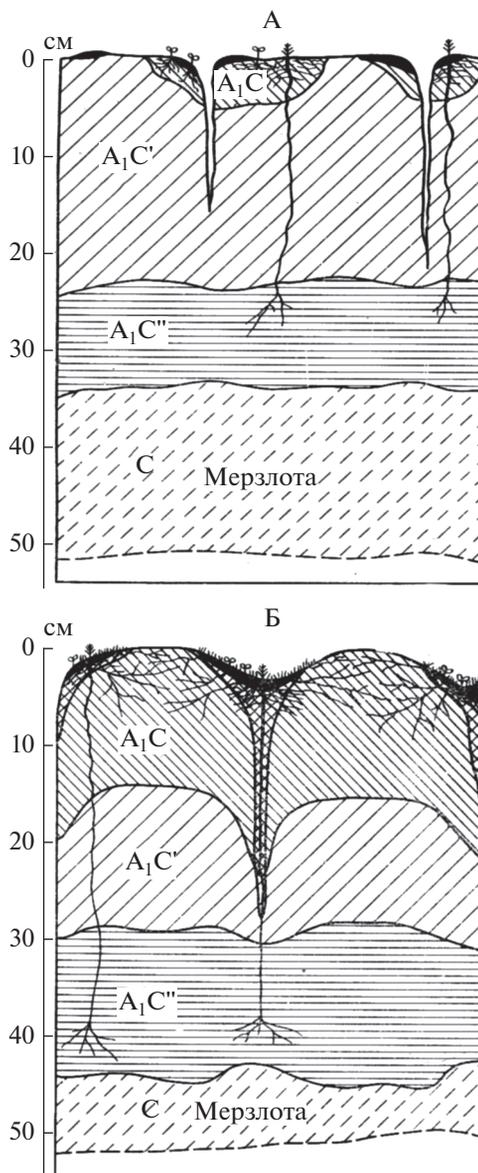


Рис. 1. Профиль пустынно-арктической почвы, центральная часть о. Большевик, Северная земля (А). Профиль дерновой арктической почвы, южное побережье о. Большевик, Северная Земля (Б).

А, 1–5 см. Светло-бурый, суглинистый, бесструктурный. Горизонт А локализован в виде “языков” под куртинами растительности. В нем может содержаться до 3% гумуса. Реакция почв нейтральная.

Кроме этих локальных языков почв, суглинистые грунты не имеют признаков почвообразования. Глубина сезонно-талого слоя составляет 15–18 см. Ниже располагается слабо льдистый мерзлый суглинок (рис. 1). По устным сообщениям Е.С. Короткевича и Н.Г. Загорской, подобные дискретные почвенно-растительные комплексы

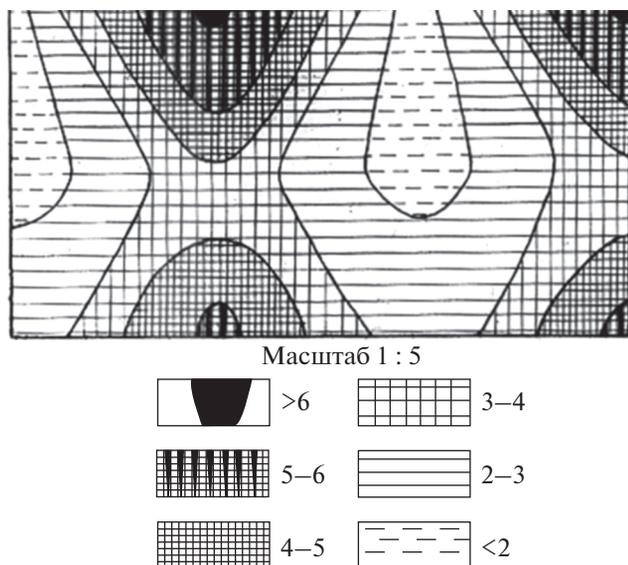


Рис. 2. Распределение гумуса в дерновой арктической почве о. Большевик.



Рис. 3. Микрополигоны арктической тундры северного побережья о. Фаддеевский, диаметр полигонов 50–60 см.

преобладают на равнинах о. Комсомолец и Пионер архипелага Северной Земли.

К югу на территории котловины можно наблюдать, как мхи и цветковые растения распространяются по трещинам, образуя бордюры, разделяющие полигоны диаметром 0,6–0,8 м, не покрытые растительностью. В составе растительности бордюров преобладают гипновые мхи, камнеломки *Saxifraga caespitosa*, *Saxifraga oppositifolia*, звездчатка *Stellaria edwardsii*, драбы *Draba alpina*, *Draba micropetala* и др. Бордюры скрепляют своими побегами кустарнички *Salix polaris*. Покрытие 25–30%.

Летом происходит оттаивание на 25–30 см. Граница деятельного слоя и многолетней мерзлоты неровная. Плотная моховая дернина задерживает часть тепла, поэтому под полигоном, лишенным растительности, глубина оттаивания на 2–3 см ниже, чем под дерниной. В углублениях поверхности мерзлоты летом скапливается вода. Осенью при замерзании происходят процессы пучения, и середина полигона становится выпуклой. Зимой вершины полигонов подвергаются снежной корразии. В этих условиях формируются мозаичные почвенно-растительные комплексы.

Разрез 38М (78°18'11" N, 103°04'51" E). Южная часть древнеозерной котловины в верховьях р. Шумная о. Большевик. Плоская равнина, сложенная моренными суглинками. Микрорельеф полигональный. Растительность образует бордюры по периферии полигонов. Под растительными бордюрами формируются почвенные горизонты:

O, 0–3 см. Оторфованная подстилка.

A, 3–20 см. Коричневато-бурый, суглинистый, комковатый, влажный, пронизан корнями, имеет клинообразный характер.

C, 20–22 см. Светло-бурый, суглинистый, бесструктурный. В нижней части горизонта видны пятна коричневато-бурого цвета и полуразложившиеся органические остатки, а также корни цветковых растений.

¹C, 22–25 см. Бурый суглинистый, мерзлый, редкие кристаллы льда.

В гумусовом горизонте накапливается до 3% гумуса. Максимально количество гумуса может составлять 5–6%. Распределение гумуса по профилю показано на рис. 2. Реакция почв слабокислая, близкая к нейтральной (рН 6,6–6,8). Поглощающий комплекс насыщен основаниями.

Осеннее пучение и весеннее оттаивание почвы вызывают латеральные процессы перемещения вещества к центру полигона (рис. 3). Это явление отмечено Лупачевым в Колымских тундрах [9, 10]. В почвах оглеения не наблюдается [12, 13, 15].

Эти сложные по своему строению почвы занимают обширный ареал на морских террасах южного побережья о. Большевик. Они также распространены на западном побережье о. Октябрьской революции Северной Земли, о. Русском в архипелаге Норденшельда, земле Александры на земле Франца Иосифа и в северных частях Новосибирских островов.

На морских террасах южной части о. Большевик, на лучше прогреваемых и защищенных от ветров участках развиваются почвенно-растительные комплексы, не имеющие мозаичного строения. Это злаково-разнотравные поляны с преобладанием лисохвоста *Alopecurus alpinus*, дюпонтии *Dupontia fischeri* с участием кисличника *Oxyria digyna*, звездчатки *Cerastium regelli*, полярного мака *Pa-*

paver polare, различных видов драб *Draba* sp. и др. Наряду с цветковыми растениями, распространены мхи и лишайники. Проективное покрытие составляет 70–80%. Поверхность почвы мелкобугристая. Почвообразующая порода – суглинки с включениями мелкого щебня и хряща. Мощность деятельного слоя составляет 50–60 см.

Разрез 71М (78°14'42" N, 103°25'50" E). Побережье бухты Солнечная о. Большевик. Морская терраса, 40 м над ур. м. Слабонаклонная равнина с останцами коренных пород, сложенная суглинками. Мелкобугристый микрорельеф. Мохово-разнотравно-злаковая тундра. Покрытие 70%.

О, 0–2 см. Слабооторфованная подстилка.

А, 2–21 см. Коричневато-бурый, суглинистый, влажный, комковатый. С нижележащим горизонтом имеет волнистую нижнюю границу.

CRM, 21–52 см. Светло-бурый, суглинистый, со слабовыраженной, плитчатостью, влажный, над поверхностью мерзлоты мокрый. Признаков оглеения и криотурбаций не обнаружено.

⊥С, 52–56 см. Бурый, суглинистый, мерзлый, встречаются кристаллы льда.

Эти дерновые арктические почвы встречаются в южной части о. Большевик [12], на полуострове Таймыр [2], на Новосибирских островах вне зоны распространения ледового комплекса [14].

Большие площади подгорных шлейфов, перекрывающих морские террасы, южной части о. Большевик занимают почвенно-растительные комплексы полосчатой тундры. Они располагаются ниже по склону снежников и орошаются их тальми водами. В отличие от участков, обводняемых тальми водами ледников, которые производят текстурную стратификацию грунтов, тальные воды снежников только напитывают грунты водой. По склонам тянутся полосы растительности. Они имеют ширину 5–10 см. Основная растительность – гипновые мхи. Из цветковых растений встречаются шучка *Deschampsia borealis*, ситник *Juncus biglumis*, ожика *Luzula confusa*. Между полосами растительности поверхность покрыта водой. Местами видны пятна пленок сине-зеленых водорослей. Мощность деятельного слоя не больше 10–12 см. Это минимальные значения для района исследований. Весь теплый период по наблюдениям автора почва насыщена водой, и ее температура не поднимается выше 2–3°C. Профиль почвы не выражен. Иногда под моховой дерниной можно выделить языки гумусового горизонта. Никаких признаков оглеения не выявляется. Реакция нейтральная. Криотурбации не наблюдаются. В конце лета интенсивность таяния снежников падает, и почва просыхает.

Изменения почвенно-растительных комплексов в районах распространения полигональных жильных льдов (ледового комплекса) [9] изучалась в северо-восточной части о. Фаддеевский, входя-

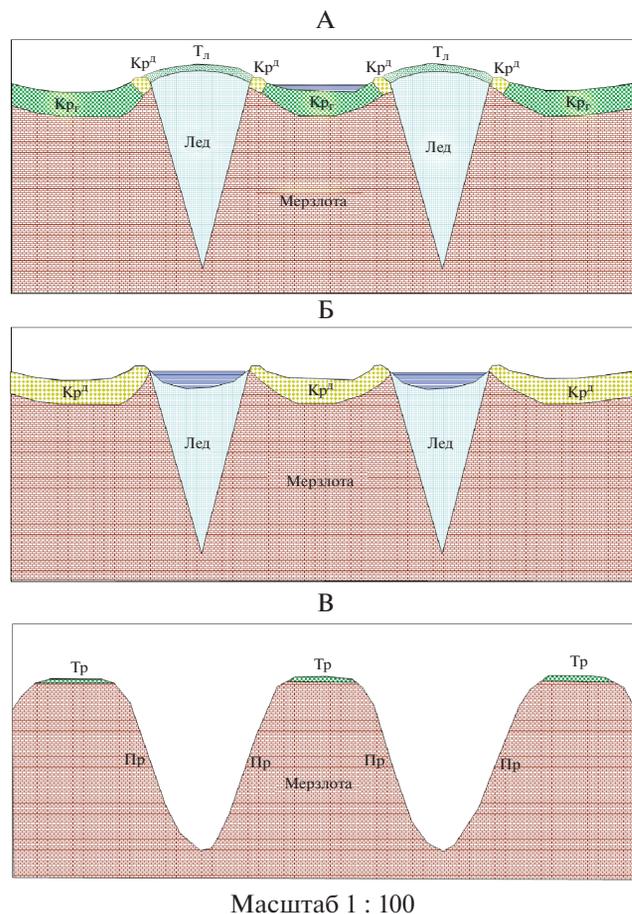


Рис. 4. Тетрагональные комплексы: А – включающий жильные льды, в стадии развития, пойма р. Улахан Юрях, о. Фаддеевский: Кр_г – криоземы глееватые, Кр^д – криоземы дерновые, Т_л – торфянистые почвы над ледяными жилами; Б – включающий жильные льды, в ранней стадии деградации, надпойменная терраса р. Улахан Юрях, о. Фаддеевский: Кр^д – криоземы дерновые, синим цветом показаны озера – челбаки. В – байджараховый комплекс, возникающий при таянии ледяных жил, аллювиальная равнина центральной части о. Фаддеевский: Пр – примитивные почвы байджарахов, Тр – реликтовая торфянистая прослойка.

щего в Новосибирские острова [14]. Формирование полигональных жильных льдов происходило на севере Сибири в течение плейстоцена и голоцена. На поймах рек в арктической тундре Восточной Сибири оно продолжается в настоящее время.

Ледяные жилы разделяют полигоны, имеющие форму тетрагонов (прямоугольники, квадраты). В пойме р. Улахан Юрях, впадающей в Восточно-Сибирское море, их размеры достигают 10–15 м в поперечнике (рис. 4). Ледяные жилы имеют выпуклую поверхность и приподняты над тетрагонами на 20–30 см. Поверхность ледяных жил перекрыта подушкой мхов мощностью 3–8 см. Под моховой подушкой залегает горизонт А_g

мощностью от 5 до 15 см суглинистый, сизовато-серый, бесструктурный, мокрый. Граница горизонта совпадает с глубиной максимального оттаивания. Ниже залегает лед с включениями пятен мелкозема и растительных остатков. На границах ледяных жил расположены валики высотой 5–8 см, шириной до 10 см. Эти валики сложены суглинистым материалом, который выталкивается снизу при расширении ледяной жилы. Свидетельством процессов выталкивания служит вихревая, турбированная структура грунтов валиков. Валики покрыты мохово-разнотравной растительностью при участии кустарничков. Среди цветковых растений преобладают нордосмия *Nordosmia frigida*, кисличник *Oxyria digyna*, лютик *Ranunculus pygmaeus*, драбы *Draba* sp., ива полярная *Salix polaris* и др. Почвы валиков имеют следующее строение:

Разрез 65М (75°29'53" N, 144°47'42" E), о. Фаддевский. Пойма р. Улахан Юрях тетрагональный микрорельеф. Разрез заложен на границе ледяной жилы и заболоченного тетрагона. Растительность – мохово-злаково-разнотравная.

О, 0–3 см. Хорошо выраженная оторфованная подстилка.

А, 3–8 см. Бурый, суглинистый, со следами криотурбаций, влажный.

С_г, 8–32 см. Светло-серый криотурбированный, суглинистый, с сизоватым оттенком, вихревой структуры.

⊥С, 32 см и ниже. Серый, суглинистый, мерзлый, льдистый.

Днища полигонов весной заливаются водой, и к концу лета постепенно освобождаются от воды. Проективное покрытие днищ тетрагонов достигает 40–50%. Преобладают гипновые мхи и злаки дюпонтия *Dupontia fischeri*, арктофила *Arctophila fulva* с участием пушицы *Eriophorum chamissonis*.

Разрез 66М, о. Фадеевский там же, где разрез 65М. Центр тетрагона. Плоская поверхность. Злаково-моховая растительность.

О, 0–3 см. Оторфованная подстилка.

А_г, 3–20 см. Сизовато-серый с охристыми пятнами и прожилками, супесчаный, бесструктурный влажный.

С_г, 20–32 см. Сизовато-бурый суглинистый, бесструктурный, пльвунный. Граница сезонного слоя 30–35 см.

⊥С, 32–38 см. Бурый, суглинистый, пронизан кристаллами льда.

Реакция почв слабокислая (6.4–6.2). Количество гумуса в горизонте А_г – 3.6%, в надмерзлотном горизонте – 2.9%. Подвижное железо по Тамму – 0.78% в верхнем горизонте и 0.9% почвы над мерзлотой.

На первой надпойменной террасе реки хорошо прослеживается тетрагональная структура. На

месте валов над ледяными жилами располагаются цепочки вытянутых луж – озерков (челбаков) глубиной 15–20 см с ледяным дном. Челбаки могут объединяться в мелкие крестообразные озера, разделяющие тетрагональные полигоны. Центры полигонов становятся более дренированными и сухими. Гидрофильная мохово-дюпонтиевая растительность сменяется мезофильной разнотравно-злаковой. Мхи не играют доминирующей роли. Появляются отдельные группы лишайников. Среди цветковых растений преобладают лисохвост альпийский *Alopecurus alpinus*, нордосмия *Nordosmia frigida*, ожика снежная *Luzula nivalis*, камнеломка *Saxifraga foliolosa*.

Почвы более сухие, но содержат реликтовые черты предыдущего периода развития.

Разрез 70М (75°31'23" N, 144°48'08" E), о. Фаддевский, первая надпойменная терраса р. Улахан Юрях. 20 м над ур. м. Плоская поверхность с многочисленными озерками, образующими тетрагональную сеть. Растительность разнотравно-злаковая.

АО, 0–6 см. Бурый, легкосуглинистый, оторфован, влажный, плотный.

С_{г, ох}, 6–26 см. Серый с сизым оттенком, легкосуглинистый, бесструктурный, охристые пятна и примазки, влажный плотный.

⊥С, 26 см и ниже. Серый, легкосуглинистый, мерзлый, включения кристаллов льда.

На хорошо дренированных участках, где возможен отток талых вод, при таянии ледяных жил формируются своеобразные байджараховые ландшафты. Байджарахами (местное наименование) называют грунтовые бугры высотой до 4–5 м в форме усеченного конуса. Их плоские вершины могут быть покрыты реликтовой торфянистой подстилкой. На вершинах байджарахов могут развиваться отдельные экземпляры цветковых растений: ложечная трава *Cochlearia groenlandica*, кисличник *Oxyria digyna*, ожика снежная *Luzula nivalis*. Борты байджарахов лишены растительности и осыпаются. На них возможно формирование корочек синезеленых водорослей. Пространство между байджарахами занято днищами расколов (оврагов), криогенным делювием и также лишено растительности. Локально встречаются небольшие участки с мохово-злаковой растительностью с криоземами глееватыми (рис. 4В, 5).

Жизнь байджарахов недолговечна. Они могут существовать десятки лет и разрушаются. На их месте развивается мелкобугристая разнотравно-моховая кустарничковая тундра с проективным покрытием 80–90% (рис. 6). В растительном покрове участвуют мхи: *Racomitrium*, *Ditrichum*. Среди цветковых растений доминируют: лапчатка *Potentilla emarginata*, лютики *Ranunculus sabinii*, *Ranunculus pygmaeus*, драбы *Draba alpina*, *Draba mi-*

cropetala, лисохвост альпийский *Alopecurus alpinus*, ива полярная *Salix polaris*.

Разрез 75М (75°37'29" N, 144°30'13" E), о. Фадеевский, водораздел между долиной Улахан Юрях и северным побережьем острова. Плоская, расчлененная равнина высотой 40 м. Расчленена рассохами (балками). На водоразделах бугорковатая разнотравно-моховая кустарничковая тундра.

O, 0–3 см. Оторфованная подстилка.

A, 3–12 см. Коричневато-бурый, легкосуглинистый, икряно-зернистый свежий.

CRM, 12–24 см. Светлый коричнево-бурый, легкосуглинистый, угловато-комковатый, влажный. Нижняя граница совпадает с границей сезонно-талого слоя.

±С, 24–30 см. Темный серовато-бурый мерзлый, кристаллы льда не наблюдаются.

Реакция почв слабокислая. Количество гумуса в горизонте А – 5.2%. Вниз по разрезу содержание гумуса падает до 1.9%. Оксалаторастворимое железо колеблется в пределах 0.67–0.77% с максимумом в надмерзлотном горизонте.

Классификационное положение почв не установлено. Аналогичные почвы на Таймыре были отнесены к дерновым тундровым [2]. Эти почвы являются доминирующими для хорошо дренированных участков тундры.

В условиях плоских равнин со слабым дренажем деградация ледяных жил проходит медленно. Ледяные жилы вытаивают, создавая сеть мелких вытянутых озерков. Водная поверхность занимает 70–80% территории. На поверхности остаются лишь перешейки между озерками с насыщенным водой грунтом. Эти перешейки покрыты мхами *Rhacomitrium*, *Aulocomnium*, *Drepanocladus* и др. В дернине мхов прячутся побеги ивы полярной *Salix polaris*. Также встречаются цветковые растения: дюпонтия *Dupontia fishery*, ситник *Juncus biglumis*, камнеломки *Saxifraga cernua*, *Saxifraga rivularis*.

Разрез 82М (74°25'29" N, 143°04'15" E), центральная часть о. Фадеевский. Плоская слабодреннированная древнеаллювиальная равнина высотой 50 м над ур. м. Большая часть поверхности покрыта мелкими озерцами. На перешейках между озерами разнотравно-моховая растительность покрытие 60%.

O, 0–5 см. Оторфованная подстилка.

A, 5–19 см. Серовато-бурый, суглинистый, бесструктурный, мокрый.

CR_g, 19–28 см. Серовато-бурый с сизым оттенком, суглинистый, пльвунный. Нижняя граница совпадает с границей сезонно-талого слоя.

±С, 28–32 см. Лед с прослойками мелкозема.

В верхнем горизонте содержится 8% гумуса. В нижней части его содержание уменьшается



Рис. 5. Байджарахи. Центральная часть о. Фадеевский.



Рис. 6. Бугристая тундра центральной части о. Фадеевский.

до 1.8%. Реакция почв слабокислая. Содержание подвижного железа 0.60–0.53%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования на островах Северного Ледовитого океана показало, что в суровых условиях Арктики происходит изменение почвенно-растительного покрова путем экспансии растительности и формирования почв. Причиной такой эволюции может быть освобождение части поверхности островов от ледникового покрова и распространение растительности на территорию, свободную ото льда. Этот процесс ускоряется благодаря потеплению климата Арктики.

На территориях, недавно освобожденных от ледникового покрова, происходят процессы фи-

зического и, вероятно, биохимического характера. Формирование железистых корочек на щебне является с большой степени вероятности биохимическим, происходящим под воздействием железобактерий, водорослей. Этот процесс нуждается в дальнейшем изучении. Аналогичные процессы были изучены в Антарктике [11]. Дифференциация гранулометрического состава поверхностной части рыхлых отложений талыми водами ледников может сохраняться длительное время и существенно влиять на процессы почвообразования. На границе между легкими и тяжелыми горизонтами может происходить застой воды, возникать процессы оглеения.

В зависимости от особенностей почвообразующих пород процессы эволюции могут различаться. На плато, сложенном плотными породами и покрытым щебнем, происходит трансформация хаотических россыпей щебня в каменные многоугольники с островками растительности в их центрах и первичными почвами. В автоморфных ландшафтах, сложенных рыхлыми породами, по мере движения от края ледникового щита можно наблюдать смену почвенно-растительного покрова от абиогенных отложений к локальным куртинам растительности с первичными языками почв. Городков [4] относил эти почвы к полярно-пустынным. Положение их в современной классификации [8] не определено.

Далее происходит переход к мозаичному почвенно-растительному покрову с оголенными микрополигонами, окаймленными бордюрами разнотравно-моховой растительности. Под бордюрами развиваются языковатые почвы. Классификационное положение этих почв окончательно не установлено. Иванова [6] выделила почвы под полигонами и растительными бордюрами в единый тип арктических почв. На севере Аляски аналогичные почвы были названы Тедрой [20] бурями арктическими Arctic Brown Soils. На Почвенной карте РСФСР они рассматривались как наноконтакты почв пятен и почв трещин. Последняя интерпретация представляется не вполне соответствующей описываемому явлению. Наименование “арктические почвы” не совсем удачно, так как подобные почвы встречаются на высокогорных плато Алтая, Саян, Хангая.

Современные воззрения на классификацию почв [8] не позволяют определить их точное классификационное положение. Эти почвы существуют в узком экологическом диапазоне. Для их возникновения необходимо три основных условия:

- наличие многолетней мерзлоты;
- мощность сезонно-талого слоя не должна превышать 60–70 см, глубже не проявляется экранирующее влияние моховой дернины на тепловые потоки;

– сильные приземные ветры, сдувающие снег и разрушающие растительность выпуклых полигонов;

К югу полигонально-бордюрные биоценозы с языковатыми почвами постепенно переходят в мохово-разнотравно-злаковые тундры с почти полным проективным покрытием. Под ними развиваются дерновые арктические почвы [12]. Васильевская [2], изучавшая аналогичные почвы в бассейне р. Тарейя (полуостров Таймыр), определила эти почвы как дерновые тундровые. Вероятно, их можно отнести к дерновым криометаморфическим почвам.

Приведенные данные позволяют утверждать, что в арктической зоне происходит изменение почвенно-растительного покрова от абиогенных грунтов к разнотравно-моховой тундре с дерновыми почвами. Изменение проходит стадии от локального распространения растительности со слабо развитыми почвами, через мозаичное распространение растительности с языковатыми почвами, до сплошного проективного покрытия с дерновыми арктическими (тундровыми) почвами.

Большие площади в арктической зоне занимают гидроморфные ландшафты, орошаемые талыми водами ледников и снежников. Их изменение идет от абиогенных грунтов к полосчатой тундре с мохово-злаковой растительностью и гидроморфными неглеевыми почвами. Нужно отметить, что гидроморфные почвы Арктики не несут признаков оглеения. Подобные почвы встречаются не только в арктической зоне. Они не входят в классификацию почв России [8], хотя занимают обширные площади. Мы по предложению Е.Н. Ивановой называли эти почвы арктическими гидроморфными. Вероятно, их можно включить в отдел гидрометаморфических почв в качестве отдельного типа криогидроморфических почв. Следует ожидать, что при усилении циклонической деятельности и увеличении количества твердых осадков площадь криогидроморфических почв будет увеличена.

В арктической зоне Восточной Сибири на поймах рек происходит развитие полигональных жильных льдов (ледового комплекса) [9, 10, 13]. В основе ледяных жил лежат морозобойные трещины, которые образуют правильную геометрическую сеть прямоугольников с длинной стороной параллельно основному руслу реки. Расстояние длинных сторон прямоугольников 10–15 м, коротких 8–10 м. Морозобойные трещины заполняются ледяными жилами, которые расширяются, выталкивая по бортам грунт наверх. По нашим наблюдениям в пойме р. Улахан-Юрях на о. Фаддеевском ширина жил составляла 1.5–2 м. Ячейки внутри сети ледяных жил занимают полигоны (тетрагоны).

В развивающемся ледовом комплексе можно выделить три компонента: ледяные жилы, валики

по бортам ледяных жил и днища тетрагонов. Классификационное положение почв над ледяными жилами не определено. Условно их можно определить как торфянистые на ледяных жилах. Почвы под валиками, вероятно, можно отнести к криоземам дерновым глееватым. Почвы тетрагонов можно рассматривать как криоземы торфянистые глееватые. Почвенный покров районов распространения полигональных жильных льдов в поймах арктической зоны можно определить как комплекс криоземов глееватых, торфянистых почв на ледяных жилах и криоземов дерновых (рис. 4А).

В почвенной литературе и легендах почвенных карт иногда происходит смешение понятий микрополигонов арктической зоны и полигонов ледового комплекса. Они различаются по генезису, размерам и форме. Возможно, употребление для первых термина “микрополигоны”, для вторых — “тетрагоны”.

Тетрагональный почвенно-растительный комплекс устойчив в условиях пойменного режима с постоянными паводками. Если паводковый режим прекращается вследствие подъема местности или углублении базиса эрозии, то ледяные жилы начинают деградировать. Стадии их деградации хорошо прослеживаются на террасах р. Улахан-Юрях и ее притоков.

Тетрагональная структура сохраняется при деградации ледяных жил, когда территория выходит из пойменного режима. На первой стадии деградации происходит таяние вершук ледяных жил. На тетрагонах не застаивается вода. Растительность из гидрофильной превращается в мезофильную. Реликтовые черты предыдущей стадии (глееватость) сохраняются в почвенном профиле. Среди почв на этой стадии деградации ледового комплекса преобладают криоземы дерновые под разнотравно-злаковой растительностью в комбинации с многочисленными озерами (челбаками) (рис. 4Б).

На следующей стадии эволюции ледового комплекса происходит разделение ее путей в зависимости от возможности стока талых вод ледяных жил. На дренированных участках происходит полное таяние ледяных жил. Ледяные жилы превращаются в сеть оврагов — рассох (местное название), разделяющих земляные грунтовые бугры — байджарахи (рис. 4В и 5).

Байджарахи под действием гипергенных факторов разрушаются. На их месте возникает бугристая тундра с разнотравно-моховой растительностью и тундровыми дерновыми почвами (криоземами дерновыми).

На плохо дренированных территориях в результате деградации ледового комплекса возникают ландшафты с преобладанием озер, разделенных небольшими перемычками. На перемычках между

ними развивается мезофильная злаково-моховая растительность с криоземами торфянистыми глееватыми.

Для почвенного покрова арктической зоны характерно отсутствие или очень слабое развитие глеевого процесса. Вероятно, это связано с низкими температурами почв и насыщением талых вод кислородом, что не позволяет идти восстановительным процессам. Второй особенностью арктической зоны является отсутствие сфагновых мхов и процессов образования торфа. Вероятно, с потеплением климата планеты процессы эволюции почвенного пойдут интенсивнее, и характер их может измениться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На островах морей Северного ледовитого океана в Арктике происходят изменения почвенно-растительного покрова, связанные с таянием ледников и подземных льдов. При отступании ледников прослеживаются изменения почвенно-растительного покрова от абиогенных грунтов к мозаичному распространению растительности с языковатыми почвами. Далее осуществляется переход к континуальному растительному покрову с тундровыми почвами.

В районах распространения полигональных жильных льдов происходит изменение почвенно-растительного покрова от тетрагональных болот через стадию байджарахов к континуальному растительному покрову с дерновыми тундровыми почвами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Е.* Арктические тундры СССР. Доклад по опубликованным работам, представленный на соискание степени доктора биологических наук. Л. 1964. С. 1–40.
2. *Васильевская В.Д.* Почвообразование в тундрах Средней Сибири. М.: Наука, 1980. 233 с.
3. *Городков Б.Н.* Об особенностях почвенного покрова Арктики // Изв. ГГО. 1939. № 19. С. 1516–1531.
4. *Городков Б.Н.* О почвенно-растительных комплексах тундровых и полярно-пустынных ландшафтов // Тр. Второго географического съезда. М.: Географгиз, 1949. Т. 3. С. 84–92.
5. *Горячкин С.В.* Почвенный покров Севера. М.: ГЕОС, 2010. 413 с.
6. *Иванова Е.Н.* Систематика почв севера европейской территории СССР // Почвоведение. 1956. № 1. С. 3–15.
7. *Караваева Н.А.* Тундровые почвы Северной Якутии. М.: Наука, 1969. 270 с.
8. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
9. *Луначев А.В., Губин С.В.* Участие почвообразования в организации переходного слоя многолетне-

- мерзлых пород // Криосфера земли. 2008. Т. 12. С. 75–83.
10. *Луначев А.В., Губин С.В., Герасимова М.И.* Диагностика криогенных почв в современной классификации почв России // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1157–1162. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19080100>
 11. *Мергелов Н.С., Горячкин С.В., Шоркунов И.Г., За-завская Э.П., Черкинский А.Е.* Эндолитное почвообразование и скальный “загар” на массивно-кристаллических породах в Восточной Антарктике // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1027–1044.
 12. *Михайлов И.С.* Дерновые арктические почвы острова Большевик // Почвоведение. 1960. № 6. С. 24–30.
 13. *Михайлов И.С.* Почвы полярных пустынь и роль Б.Н. Городкова в их изучении // Известия ВГО. 1962. Т. 94. С. 520–523.
 14. *Михайлов И.С.* Эволюция почв и растительного покрова в северо-восточной части острова Фадеевского // Тр. ААНИИ. 1963. Т. 224. С. 121–131.
 15. *Михайлов И.С.* Почвы. Советская Арктика. М.: Наука, 1970. С. 230–246.
 16. *Прик З.М.* О колебаниях климата Арктики и их причинах // Тр. ААНИИ. 1968. Т. 228. С. 43–51.
 17. *Bay C.* Floristical and ecological characterization of the polar desert zone of Greenland // J. Vegetation Sci. 1997. P. 685–696.
 18. *Fedorov N.* Les Sols du Spitzberg Occidental. 1964. 228 p.
 19. *Foscolos A.E., Kodama H.* Mineralogy and chemistry of Arctic desert soils on Ellef Ringnes Island. Arctic Canada. Soil Sci // Soc. Am. J. 1981. V. 45. P. 987–993.
 20. *Tedrow I.C.F., Hill D.E.* Arctic Brown Soils // Soil Science. 1955. V. 80. P. 88–108.

Changes in the Soil-Plant Cover of High Arctics of Eastern Siberia

I. S. Mikhaylov*

Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia

**e-mail: is-mikhaylov@yandex.ru*

Investigations of soil and plant cover changes are necessary when designing technical objects: gas- and petroleum pipelines, roads, and power lines in order to avoid the adverse effects of these activities, and to preserve the easily vulnerable ecosystems. Changes of the soil-plant cover in High Arctics of Eastern Siberia make it more complicated. Chaotic bare stone debris evolves in stony polygons with “soil embryos” and islands of vegetation. Deglaciated sediments are locally overgrown with plants on weakly developed soils at the initial stage, then to the stage of mosaic plant cover with glossic soils; at the next stage soil-plant complexes are formed with a continuous plant cover on soddy arctic soils predominant. Melt waters of glaciers and snow fields saturate the sediments and may induce their textural differentiation. Soil and plant cover changes on ice veins are specific. Ice veins occur on floodplains and form tetragonal complexes of moss or moss-grass tundra with gleyzems and peat soils on the veins’ tops. When the flooding regime declines, the ice veins degrade, and small lakes are formed on their sites. Bogged tetragons become replaced by a mesophilic forb-grass tundra with gleyic soils. With good drainage this stage is followed by the stage of hummocks – baidzharakhs. When the latter are destroyed, a hummocky grass-forb tundra with soddy tundra soils appears.

Keywords: arctic soils, polygonal ice veins, stony polygons soddy tundra soils