

ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ

УДК 631.48–551.34

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2016-4(69-78)

**ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ГЛУБИНУ СЕЗОННОГО
ПРОТАИВАНИЯ В ТУНДРОВЫХ ПОЧВАХ ПРЕДГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ
КРЯЖА ПАЙ-ХОЙ (ЮГО-ЗАПАД ЮГОРСКОГО ПОЛУОСТРОВА)**

Д.А. Каверин, Е.Е. Кулюгина, О.В. Шахтарова, В.М. Щанов

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28, Россия; dkav@mail.ru*

Охарактеризована взаимосвязь растительного покрова с глубиной сезонного протаивания почв предгорной равнины Большеземельской тундры, примыкающей к низкорослому кряжу Пай-Хой (бассейн реки Васьяха, юго-запад Югорского полуострова). Выявлены основные группы растительных сообществ, для них определены характерные типы (подтипы) почв и глубины сезонного протаивания. Выделены основные типы почвенных профилей по характеру залегания сезонно- и многолетнемерзлых горизонтов в середине вегетационного периода. Определено влияние отдельных параметров растительного и почвенного покрова на глубину сезонного протаивания мерзлотных почв. Для ключевого участка исследований показаны особенности построения почвенной карты на основе карты растительности. Проведен анализ структуры почвенного покрова с учетом глубины сезонного протаивания почв.

Растительные сообщества, тундровые почвы, сезонноталый слой, многолетнемерзлые породы, структура почвенного покрова

**THE IMPACT OF VEGETATION ON THAW DEPTH IN TUNDRA SOILS OF SUBMONTANE LANDSCAPES
OF THE PAI-KHOI RIDGE (SOUTH-WEST OF YUGORSKY PENINSULA)**

D.A. Kaverin, E.E. Kulyugina, O.V. Shahtarova, V.M. Shchanov

*Institute of Biology, Komi Science Centre UB RAS,
167982, Syktyvkar, Kommunisticheskaya str., 28, Russia; dkav@mail.ru*

The interrelation of the vegetation cover with thaw depth in the soils of foothill plains of the Bolshezemelskaya tundra adjacent to the low-mountain Pai-Khoi ridge (the basin of the Vasyaha River, south-west of the Yugorsky Peninsula) has been characterized. The main groups of vegetation communities associated with certain soil types (subtypes) and thaw depths have been identified. Based on seasonally and perennially frozen horizons occurrence in the middle of the vegetation season, the main soil profile types have been determined. The impact of certain parameters of the vegetation and soil cover on the thaw depth in permafrost-affected soils has been assessed. The specifics of soil map compilation, based on vegetation maps, have been demonstrated for the key site. Analysis of soil cover structure considering the thaw depth has been carried out.

Vegetation communities, tundra soils, active layer, permafrost, soil cover structure

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время внимание ученых приковано к комплексным исследованиям почв тундровой зоны Европейского Северо-Востока – региона нашей страны, являющегося весьма чувствительным к современным климатическим изменениям [Мажитова, 2008; Оберман, Шеслер, 2009]. Актуальными остаются вопросы исследований мерзлотных почв и подстилающих многолетнемерзлых пород во взаимосвязи с растительным покровом в криолитозоне [Мажитова, 2008]. Вследствие труднодоступности Югорский полуостров оста-

ся наименее изученным в отношении почв и растительности регионом Европейского Северо-Востока [Королева, Кулюгина, 2007]. Растительность и почвы являются основными индикаторами состояния ландшафтов криолитозоны. Развитие фитоценозов на полуострове, в свою очередь, во многом определяется мерзлотными условиями почв и грунтов [Елсаков, Кулюгина, 2014].

Наиболее ранним и полным обобщением материалов по растительному покрову Югорского полуострова является монография В.Н. Андреева

[1935], в которой приведены зональные особенности и геоботаническое районирование, дана характеристика сообществ и их площадное соотношение. Сведения по флоре и растительности региона представлены в более поздних публикациях [Грибова, 1980; Лавриненко, 2010; Елсаков, Кулюгина, 2014; Кулюгина, 2013].

В настоящее время наблюдаются отчетливые тренды деградации многолетней мерзлоты, которые проявляются в смещении к северу границ ее распространения на цокольных равнинах Приуралья и низкогорного кряжа Пай-Хой [Елсаков, 2013]. Подтверждением этому служат факты смещения на десятки километров за период 1970–2005 гг. границ мерзлотных подзон и возникновения многочисленных несквозных таликов на водоразделах, повышения температуры многолетнемерзлых грунтов на Югорском полуострове в связи с климатическими изменениями [Оберман, Шеслер, 2009]. На этом фоне вследствие продвижения на север крупнокустарниковой растительности увеличилась продуктивность фитоценозов [Елсаков, Кулюгина, 2014].

Структура почвенного покрова Югорского полуострова удовлетворительно показана в масштабе 1:250 000 на почвенной карте Атласа Архангельской области [Атлас..., 1976] и листе почвенной карты РСФСР [Почвенная карта..., 1988]. Листы Государственной почвенной карты масштаба 1:1 000 000 на территорию крайнего Северо-

Востока Европы не опубликованы. Начиная с 2000-х гг. на территории полуострова изучались только отдельные участки тундровых почв.

Для региона ранее установлено, что глубина сезонного промерзания и протаивания в почвах южных тундр сильно дифференцирована в зависимости от характера растительного покрова [Мажитова, 2008]. При этом на глубину сезонного промерзания и протаивания в наибольшей степени влияют высота и плотность напочвенного покрова, кустарникового яруса и мощность торфянистого горизонта почвы [Тыртиков, 1966].

Существенная перестройка криолитозоны и изменение структуры фитоценозов в регионе делают особенно актуальными исследования растительного и почвенного покровов с акцентом на их взаимосвязь с мерзлотными условиями на Европейском Севере – в зоне типичных тундр.

В связи с этим сформулирована цель настоящей работы – охарактеризовать влияние растительного покрова на глубину сезонного протаивания тундровых почв в предгорных ландшафтах юго-запада Югорского полуострова.

При исследованиях на ключевом участке поставлены следующие задачи:

- выявить основные типы растительных сообществ, определить для них ландшафтную приуроченность, характерные типы (подтипы) почв и глубину сезонного протаивания почв;
- определить основные типы почвенных профилей по характеру залегания сезонно- и многолетнемерзлых горизонтов в середине вегетационного периода;
- оценить влияние отдельных параметров растительного и почвенного покровов (мощность органического горизонта, высота и сомкнутость кустарникового яруса) на глубину сезонного протаивания мерзлотных почв;
- провести анализ структуры почвенного покрова участка исследований с учетом глубины сезонного протаивания.

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Участок исследований площадью 26,7 км² расположен на границе Большеземельской тундры с кряжем Пай-Хой на юго-западе Югорского полуострова (рис. 1). Ключевой участок приурочен к бассейну р. Васьяха (приток р. Коротаиха) в ее верхнем течении. Территория характеризуется субарктическим, умеренно континентальным умеренно холодным климатом. Среднегодовая температура воздуха составляет –7 °С, средняя температура июля +10 °С, января –21 °С. Среднегодовое количество осадков составляет 600–650 мм, из них около 70 % выпадает в теплый период года. Зимой преобладают ветры юго-западного и южного направления, летом – северного и

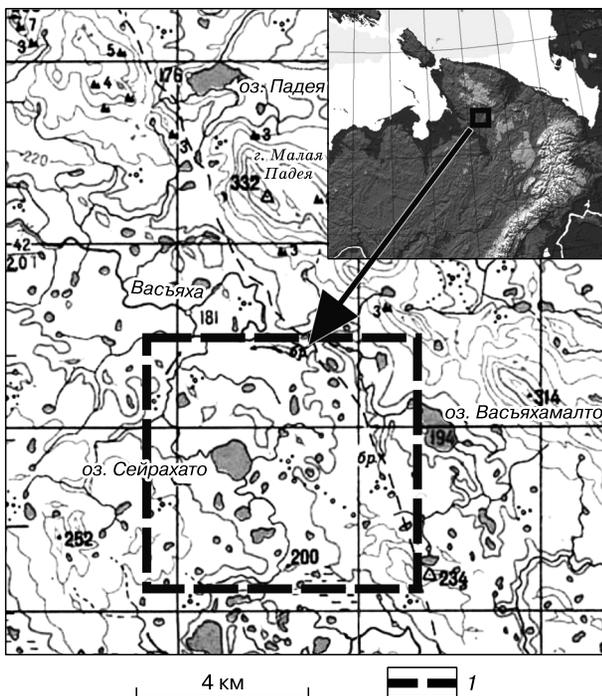


Рис. 1. Географическое положение участка исследований.

1 – границы участка.

восточного [Атлас..., 1976]. В среднем максимальная высота снежного покрова – 40–60 см [Елсаков, 2013].

Участок исследований представляет собой предгорную волнисто-холмистую равнину (180–230 м над ур. моря), примыкающую на северо-востоке к отрогам низкогорного кряжа Пай-Хой (район г. Малая Падея, 250–330 м над ур. моря). Равнина расчленена долинами р. Васьяха, ее притоков и озерными котловинами. Характерными формами рельефа являются моренные холмы, локально заболоченные озерно-аллювиальные котловины и понижения, аллювиальные террасы [Данилов, 1962].

Почвообразующие породы предгорной равнины: четвертичные прибрежно-морские, ледниково-морские, моренные, озерно-ледниковые, озерные и аллювиальные отложения [Данилов, 1962; Атлас..., 1976]. Моренные и ледниково-морские отложения представлены в основном суглинками, озерно-аллювиальные – песчаными и супесчаными породами. Суммарная мощность четвертичных пород достигает 60–75 м и уменьшается по мере приближения к горным хребтам и останцам Пай-Хоя. Выше 200 м над ур. моря на дневную поверхность выходят плотные палеозойские коренные породы.

Югорский полуостров характеризуется достаточно густой речной сетью. Извилистость речных русел обусловлена близким залеганием многолетне-немерзлых пород (ММП). Реки и озера свободны ото льда всего три-четыре месяца в году, обычно промерзая зимой до дна. Наиболее крупная река участка исследований – Васьяха – в своем верхнем течении имеет глубину 1 м и ширину до 3 м. На ключевом участке находится значительное количество мелководных термокарстовых озер. Территория относится к зоне сплошного распространения ММП мощностью 300–400 м, среднегодовой температурой –3...–5 °С [Геокриологическая карта..., 1998].

В соответствии с геоботаническим районированием [Александрова, 1977] участок исследований относится к Урало-Пайхойской подпровинции Восточноевропейско-Западносибирской провинции субарктических тундр. По С.А. Грибовой [1980], территория лежит в пределах северных и мелкоерниковых южных тундр, по Н.В. Матвеевой [1998] – в типичных тундрах. Своеобразие территории выражается в монотонности растительного покрова и сильной заболоченности [Андреев, 1935]. В регионе в значительной степени сказывается влияние ММП, имеющих сплошное распространение [Елсаков, Кулюгина, 2014]. Суровые климатические условия обуславливают медленные темпы торфонакопления.

Согласно почвенно-географическому районированию, территория относится к Канинско-Пе-

чорской провинции тундровых глеевых и тундровых иллювиально-гумусовых мерзлотных почв [Добровольский, 1999]. В соответствии с Почвенной картой РСФСР масштаба 1:2 500 000 в районе исследований распространены арктотундровые перегнойно-глеевые, тундровые глеевые торфянистые и торфяные почвы [Почвенная карта..., 1988].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования почв и растительности проводились с 16 по 31 июля 2010 г. в рамках комплексной экспедиции Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Растительный покров изучен с использованием общепринятых геоботанических методов [Кучеров, Паянская-Гвоздева, 1995]: закладки пробных площадей (размером 5 × 5 м; выбор площадок обусловлен степенью однородности растительного покрова в границах контуров растительных сообществ), маршрутных наблюдений и дистанционного зондирования земной поверхности со спутников серии Landsat TM_5. Участие видов оценивали по шкале обилия-встречаемости Браун-Бланке [Миркин и др., 2001]. При классификации геоботанического материала использовали подходы флористической классификации Браун-Бланке, программный пакет Graphs [Новаковский, 2006]. Названия видов даны по современной номенклатуре [Черепанов, 1995; Игнатов и др., 2006; Santesson, 1993]. В табл. 1 названия синтаксонов приведены в соответствии с Кодексом фитоценологической номенклатуры [Weber et al., 2000] и с учетом ранее опубликованных данных по растительности региона [Тетерюк, Кулюгина, 2014; Королева, Кулюгина, 2015; Kulyugina, 2013].

В пределах основных контуров растительных сообществ заложено 20 опорных почвенных разрезов и 50 прикопок. Опорные почвенные разрезы закладывались по трансектам “озерная котловина/речная долина–водораздельный увал”. В полевых условиях определяли морфологические параметры почв и подстилающих ММП. Таксономические названия почв приведены в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России [Классификация..., 2004].

Глубину протаивания почв определяли градуированным металлическим зондом диаметром 10 мм [ГОСТ 26262-84]. В сезонноталом слое (СТС) при заложении почвенного разреза произведен отбор образцов из каждого горизонта. В нижележащих сезонно- и многолетнемерзлых горизонтах отбор кернов до глубины 1.0–1.5 м осуществляли с помощью забиваемой металлической трубы диаметром 40 мм.

В середине лета глубина протаивания почв еще не достигает подошвы СТС. Сезонная мерзлота, как правило, сохранялась в нижней части про-

Комплексная характеристика групп растительных сообществ

Растительные сообщества	Доминирующие виды	Положение в рельефе	Преобладающие типы (подтипы) почв	Тип промерзания почвенного профиля	Глубина фактического протаивания, см	Глубина кровли ММП, см	Криотекстуры СТС/ММП
Осоково-кустарничково-моховые	Осоки (<i>Carex arctisibirica</i>), кустарнички (<i>Salix polaris</i> , <i>S. reticulata</i> , <i>Dryas octopetala</i>), мхи (<i>Hylacomium splendens</i> , <i>Aulacomnium turgidum</i> , <i>Tomenthypnum nitens</i>)	Верхние части невысоких возвышенностей, на поверхности которых встречаются пятна морозного пучения	Глееземы перегнойные криотурбированные мерзлотные	Мерзлотные	20–70	70–90	Массивные/ Тонкошлывовые
Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые	Кустарнички (<i>Dryas octopetala</i> , <i>Salix humularia</i> , <i>Salix polaris</i>), травы (<i>Carex arctisibirica</i> , <i>Equisetum argense</i>), мхи (<i>Pleurozium</i>) и лишайники (<i>Cladonia</i>)	Вершины увалов и пологие склоны увалов преимущественно южной экспозиции, высокие береговые террасы рек и озер	Глееземы перегнойные мерзлотные	Мерзлотные	20–70	70–90	Массивные/ Тонкошлывовые
Осоково-моховые болота	<i>Carex concolor</i> , зеленые мхи – <i>Warnstorfia exannulata</i> , <i>Calliergon cordifolium</i>	Плоские межувальные понижения, низкие приозерные террасы	Глееземы криогенно-ожезлененные мерзлотные и торфяно-глееземы мерзлотные	Мерзлотные	20–60	70–100	Массивные/ Массивные и тонкошлывовые
Морошково-сфагновые болота	Кустарнички (<i>Rubus chamaemorus</i> , <i>Eriophorum scheuchzeri</i>) и сфагновые мхи (<i>Sphagnum warnstorffii</i> , <i>Sphagnum girgensohnii</i> , <i>Sphagnum russowii</i> , <i>Sphagnum squarrosum</i>)	Плоские межувальные понижения	Торфяно-глееземы мерзлотные	Мерзлотные	30	70–80	Массивные/ Тонкошлывовые
Разреженные ивняки	<i>Salix glauca</i> , <i>S. lanata</i> , <i>S. phylicifolia</i>	Низкие приозерные террасы, нижние части и подошвы склонов увалов	Глееземы, торфяно-глееземы	Глубокомерзлотные	90 и более	100–200	Массивные
Высокие ивняки	<i>Salix glauca</i> , <i>S. lanata</i>	Межувальные понижения, нижние части склонов, вдоль водотоков, на берегах озер	Глееземы криогенно-ожезлененные и торфяно-глееземы	Немерзлотные с поверхностным промерзанием	Не определены	Кровля ММП в пределах 2 м отсутствует	Криотекстуры отсутствуют
Разнотравно-осоково-моховые луга	В условиях плакора: <i>Carex concolor</i> , <i>Polemonium acutiflorum</i> , <i>Calamagrostis holmii</i> , из мхов – <i>Polytrichum commune</i> , <i>Sanionia uncinata</i> ; вблизи водотоков: <i>Carex concolor</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Poa pratensis</i>	Вдоль водотоков полосами шириной 10–50 м, в межувальных понижениях, на растущих берегах озер, в окружении разреженных ивняков	Темнотумусовые глеевые	Немерзлотные с глубоким промерзанием	80 и более, либо ММП отсутствуют	–	Массивные/–

Таблица 2. Дополнительная характеристика групп растительных сообществ

Группа растительных сообществ	Максимальная высота ярусов, см	Сомкнутость верхнего яруса, см	Сомкнутость напочвенного яруса, см	Индекс NDVI	Индекс DI	Средняя абсолютная высота, м над ур. моря	Средний угол наклона поверхности почв, град
Осоково-кустарничково-моховые	20	0.9–1.0	0.9–1.0	0.46	1.03	200.3	0.65
Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые	20	1.0	1.0	0.36	2.02	200.2	0.70
Осоково-моховые болота	40	0.7–0.9	0–1.0	0.46	0.19	199.6	0.60
Морошково-сфагновые болота	20	0.9	1.0	0.40	1.85	199.6	0.60
Разреженные ивняки	60	0.6–0.8	0.5–1.0	0.45	0.73	200.1	0.72
Высокие ивняки	100–170	0.6–0.95	0.1–1.0	0.49	–0.76	200.0	0.69
Разнотравно-осоково-моховые луга	30–50	0.3–0.95	0–0.2	0.49	0.08	200.3	0.79

филя почвы. В почвах со сливающейся мерзлотой глубину подошвы СТС определяли криотекстурным методом [ГОСТ 26262-84]. В почвах с несливающейся мерзлотой (глубина ММП более 1–2 м) присутствие сезонной мерзлоты позволило ориентировочно оценить глубину сезонного промерзания. При этом глубина сезонного промерзания определялась по нижнему пределу остаточного сезонномерзлого слоя.

Влияние мощности оторфованного горизонта и высоты растительного покрова на глубину протаивания почв определяли расчетом коррелятивных связей. В почвах низкорослых болотных и тундровых сообществ найден коэффициент корреляции (r) между мощностью органогенного горизонта и глубиной протаивания. Для почв разреженных и высоких ивняков использована множественная регрессия, где в качестве зависимой переменной принята глубина протаивания почв, независимыми переменными являются мощность органогенного горизонта (см), высота кустарникового яруса (см) и сомкнутость кустарникового яруса (%). Расчеты проводились в программной среде STATISTICA 10.0 (модуль General Linear Models).

По материалам спутниковых изображений Landsat_TM5 (съемка 21.07.2000 и 13.07.2009), с использованием данных геоботанических описаний в программной среде Erdas Imagine 9.1 выполнена поэтапная управляемая классификация растительного покрова, позволившая составить цифровую карту растительности масштабом 1:100 000. На основе карты растительности с привлечением почвенных полевых и расчетных данных (матриц) рельефа составлена карта почв. Топографические переменные (крутизна склона и абсолютная высота) рассчитывались как средние значения в качестве дополнительных характеристик основных типов растительности и почв. Окончательная обработка карты и расчеты по структуре почвенного

и растительного покровов выполнялись в программной среде ArcGis 9.1. Для полигонов цифровой карты растительности рассчитаны средние значения индексов: NDVI (нормализованный разностный индекс состояния растительного покрова); DI (индекс нарушенности растительного покрова) (табл. 2). На основе построенной карты почв участка исследований проведены площадные расчеты и анализ структуры почвенного покрова с учетом глубины сезонного протаивания почв.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУПП РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

В настоящей работе рассматривается характеристика семи основных групп растительных сообществ и соответствующие им ландшафтные компоненты (почвы, глубина протаивания и залегания кровли ММП, рельеф, почвообразующие породы и др.) (см. табл. 1, 2).

Первые четыре группы растительных сообществ формируются на почвах с близким к поверхности (в пределах 1 м) подстиланием ММП.

1. Осоково-кустарничково-моховые тундры приурочены к плосковершинным буграм (на высотах 200–215 м над ур. моря), на поверхности которых встречаются пятна морозного лущения. Сообщества занимают 24 % площади ключевого участка. В почвах хорошо выражены признаки криотурбаций (см. табл. 1; рис. 2). Высота сомкнутого осоково-кустарничкового яруса достигает 20 см (16.0 ± 1.9 см). Мхи образуют плотный ковер толщиной до 8 см (6.0 ± 0.5 см).

2. Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры формируются на наиболее дренированных позициях (201–330 м над ур. моря). На участке исследований распространены локально, занимая около 1 % его площади. Характеризуются высокой сомкнутостью верхнего (с высотой 15 ± 2 см) и напочвенного (высотой 4.0 ± 0.8 см) ярусов.

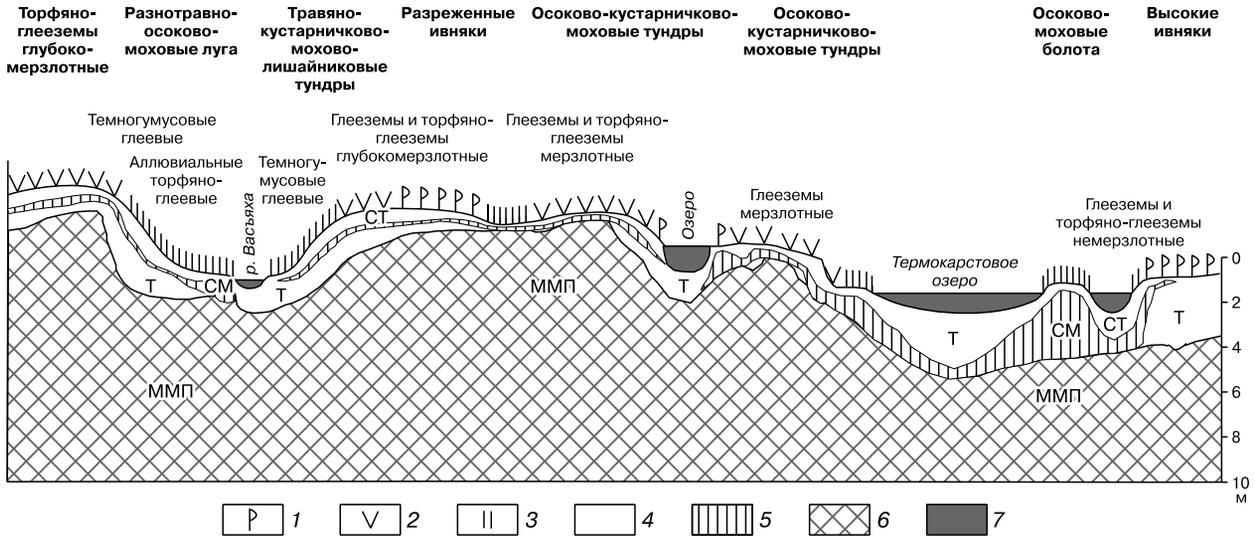


Рис. 2. Комплексный физико-географический профиль по линии “водораздел–долина термокарстового озера”, бассейн р. Васьяха (30.07.2010).

1 – кустарнички; 2 – кустарнички; 3 – травянистая растительность; 4 – сезонноталые (СТ) и талые (Т) горизонты; 5 – сезонномерзлые горизонты (СМ); 6 – многолетнемерзлые породы (ММП); 7 – реки и озера.

3. Осоково-моховые болота занимают большие площади (около 12 % площади участка) в депрессиях рельефа, часто в условиях избыточного увлажнения на абсолютных высотах 190–204 м над ур. моря. В почвах низких приозерных террас мощность органического горизонта обычно не превышает 10 см (5 ± 1 см), в межуалистных понижениях – до 20 см (12 ± 5 см). Суглинистые почвы в межуалистных понижениях характеризуются небольшой глубиной протаивания (44 ± 8 см). В прибрежных сообществах в песчаных почвах кровля ММП залегает на глубине 74 ± 27 см. Растительный покров сомкнут (высота 47 ± 3 см), сложен в основном осокой. Моховой покров (высотой 5–10 см, в среднем 8.0 ± 1.4 см) крайне разрежен (5–30 % покрытия). Сообщества часто обводнены, вследствие этого отмершие части осок плохо разлагаются, образуя значительное (до 30 % покрытия) количество ветоши у поверхности почвы.

4. Морошково-сфагновые болота занимают плоские межуалистные понижения, низкие приозерные террасы, сложенные суглинистыми породами. На участке исследований эти сообщества встречаются очень ограниченно (менее 1 % площади), обычно внутри контуров осоково-моховых болот. Высота травяного яруса составляет 23 ± 2 см, мохового – 7 ± 2 см, при высокой сомкнутости покрова фитоценоза. Мощный (24 ± 6 см) торфяной горизонт и сомкнутый моховой покров обуславливают минимальные глубины сезонного протаивания почвы (см. табл. 1, 2; рис. 2). Близкое залегание ММП в данных сообществах объясняется формированием суглинист-

тых почв на наветренных позициях с малой мощностью снега зимой, что способствует сильному охлаждению почв и подстилающих отложений [Мажитова, 2008].

На почвах с глубиной залегания кровли ММП в пределах 1–2 м широко развиты редкостебельные тундры.

5. Ивняки разреженные травяно-моховые встречаются в нижних и средних частях склонов увалов, понижениях озерных котловин. Экотопы вблизи озер часто характеризуются избыточной увлажненностью, местами приводящей к заболачиванию. Это проявляется в присутствии в растительном покрове сфагновых мхов, осок и морошки. На пологих склонах холмов в сообществах существенно возрастает обилие кустарничков. Фитоценозы формируются на абсолютных отметках 193–211 м над ур. моря, занимая 32 % площади участка исследований. В данных сообществах выделяется три яруса: разреженный кустарничковый высотой 38 ± 8 см и более, сомкнутые травяно-кустарничковый (24 ± 3 см) и моховой (4.0 ± 0.4 см). Разреженность верхнего, недостаточная сомкнутость мохового ярусов, а также относительно небольшая мощность торфяного горизонта (5 ± 4 см) способствуют большему прогреванию почвы в летний период. Глубина залегания кровли ММП обычно опускается до 1.5 м в суглинистых почвах и до 2 м в почвах легкого гранулометрического состава (см. табл. 1; рис. 2).

На немерзлотных почвах, в которых ММП залегают на глубине более 2 м, развиты преимущественно крупноивняковые и луговые сообщества.

6. Высокие ивняки разнотравно-моховые развиты в плоских склонах между валистыми понижениями, нижних частях склонов, вдоль водотоков и по берегам озер на абсолютных высотах 193–227 м над ур. моря. Сообщества занимают 19 % площади ключевого участка. Эти фитоценозы характеризуются максимальной для исследуемой территории сомкнутостью и высотой кустарникового яруса (115 ± 9 см), но разреженностью травяно-кустарничкового (высотой 28 ± 3 см) и мохового (4.0 ± 0.5 см) ярусов [Тыртиков, 1969]. Сомкнутый высокий полог ив, задерживающий значительное количество снега в этих экотопах, и мало-мощная оторфованная подстилка обуславливают мягкий температурный режим почв и соответственно отсутствие ММП в пределах почвенного профиля (см. табл. 1, 2; рис. 2) [Тыртиков, 1969].

7. Разнотравно-осоково-моховые луга встречаются на плакорх: между увалами, на зарастающих берегах озер, вдоль водотоков полосами шириной 10–50 м. Они приурочены к абсолютным высотам 197–205 м и занимают около 3 % площади изученного участка. Отсутствию ММП в пределах 2 м способствует малая мощность (2.0 ± 0.2 см) и сильная расчлененность мохового яруса (см. табл. 1, 2; рис. 2).

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОЧВ ПО ХАРАКТЕРУ ЗАЛЕГАНИЯ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРИЗОНТОВ

В период исследований оттаивание мерзлотных почв варьировало в пределах 30–60 % от общей глубины СТС (см. табл. 1). Глубины сезонного протаивания и кровли ММП в почвах на песчаных почвообразующих породах приблизительно в 1.5 раза больше по сравнению с суглинистыми почвами. В Большеземельской тундре к концу июля протаивает примерно 60 % СТС [Шаманова, 1970]. Эти данные подтверждают наши многолетние исследования на площадке CALM R2 [Мажитова, Каверин, 2007]. В почвах со сливающейся мерзлотой горизонты СТС характеризовались преимущественно массивными криогенными текстурами, горизонты ММП – слоистыми. В почвах луговых и редкоивняковых сообществ на глубине 80–100 см часто обнаруживался маломощный мерзлый горизонт. Присутствие остаточной сезонной мерзлоты в данных случаях свидетельствует о глубоком зимнем промерзании почв, при этом сезонная мерзлота не сливается с многолетней. В почвах под высокими ивняками в середине июля следов сезонной мерзлоты не обнаружено, что связано с их неглубоким зимним промерзанием. Следует пояснить, что в период максимального сезонного оттаивания (сентябрь) сезонная мерзлота протаивает полностью и в почвах обычно не обнаруживается. Однако присутствие ее в середи-

не лета позволило отчасти судить о глубине сезонного промерзания.

В связи с вышеизложенным при полевых исследованиях тундровых почв в середине вегетационного периода целесообразнее рассматривать их как систему сочетания талых и мерзлых горизонтов (см. табл. 1; рис. 3). Выделяются следующие типы почвенных профилей с различным сочетанием этих горизонтов.

I. Мерзлотные почвы (сливающаяся мерзлота) представляют собой трехслойную систему горизонтов: сезонноталые (СТ)–сезонномерзлые (СМ)–многолетнемерзлые (ММП).

II. Глубокомерзлотные почвы (несливающаяся мерзлота) имеют четырехслойную систему: СТ–СМ–постоянно талые (Т)–ММП.

III. Немерзлотные почвы, в профиле и подстилающих отложениях которых ММП не обнаруживаются, могут быть представлены двумя вариантами: IIIa) с глубоким сезонным промерзанием (СТ–СМ–Т); IIIб) с поверхностным сезонным промерзанием (СТ/Т).

Выделение мерзлотных, глубокомерзлотных и немерзлотных типов почвенных профилей соотносится с классификационными принципами системы WRB [IUSS, 2014], где они дифференцированы на высоком таксономическом уровне и выделяются как Cryosols, Gelic Gleysols и Gleysols соответственно. В последней версии Классификации почв России [Полевой определитель..., 2008] на уровне подтипов выделены мерзлотные глееземы и торфяно-глееземы. Проведенные исследования показали, что при диагностике типов глееземов и торфяно-глееземов разработчикам почвенной классификации можно рекомендовать добавить подтип “глубокомерзлотные”. Добавление данного подтипа позволит детализировать мерзлотную обстановку при построении почвен-

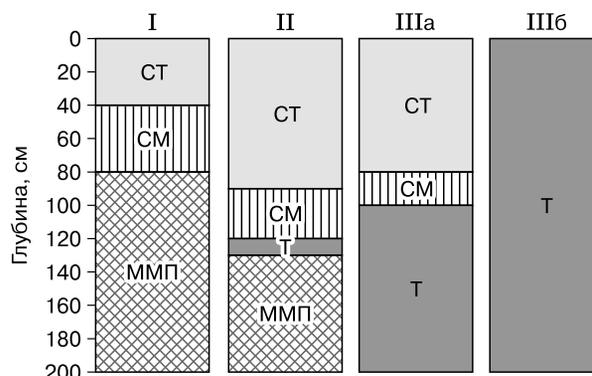


Рис. 3. Типы почвенных профилей с различными условиями промерзания (середина вегетационного периода):

I – мерзлотные почвы, II – глубокомерзлотные, IIIa – немерзлотные с глубоким сезонным промерзанием, IIIб – немерзлотные почвы с поверхностным сезонным промерзанием.

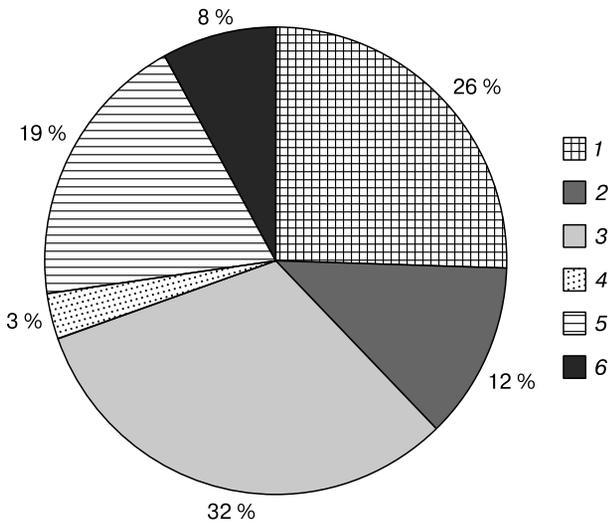


Рис. 4. Относительная доля основных типов (подтипов) почв на участке исследований.

1, 2 – мерзлотные почвы: 1 – глееземы мерзлотные, 2 – глееземы мерзлотные в сочетании с торфяно-глееземами мерзлотными; 3 – глееземы глубокомерзлотные; 4, 5 – немерзлотные почвы: 4 – темногумусовые глеевые (с глубоким сезонным промерзанием), 5 – глееземы в сочетании с торфяно-глееземами (с поверхностным сезонным промерзанием); 6 – водные поверхности.

ных карт и анализе структуры почвенного покрова в районах распространения ММП (рис. 4). Особое внимание к мерзлотному компоненту при выделении подтипов тундровых глеевых почв способствует приближению отечественной классификации почв к принципам зарубежных почвенных таксономических систем [Soil Taxonomy, 1999; IUSS, 2014].

Эффект мощности органического слоя наиболее чувствителен к глубине сезонного протаивания на участках с мохово-лишайниковой растительностью [Mazhitova et al., 2004]. В почвах сообществ с низкорослой растительностью увеличение мощности органогенного горизонта обуславливает уменьшение глубины сезонного протаивания. В почвах под кустарничково-мохово-лишайниковыми сообществами (количество точек в выборке $n = 15$) и осоково-моховыми болотами ($n = 17$) глубина сезонного протаивания обратно пропорциональна мощности органогенного горизонта (коэффициент корреляции $r = -0.6$, статистический уровень значимости $p\text{-level} < 0.05$).

Влияние органогенного горизонта сглаживается на участках, покрытых крупнокустарничковой растительностью. Расчеты методом множественной регрессии показали, что в почвах ивняковых тундр ($n = 18$) основным фактором, влияющим на глубину протаивания, является высота яруса кустарников, объясняющая 46 % вариабельности фактического протаивания.

При этом глубина протаивания удовлетворительно ($r = 0.72$, $p\text{-level} < 0.05$) коррелирует с высотой кустарникового яруса (уравнение линейной регрессии $y = 0.6521x + 7.7437$). Мощность торфяного горизонта в почвах ивняковых сообществ оказывает незначительное влияние на сезонное протаивание (3 %).

Установлено, что на участке исследований в зоне типичных тундр при высоте кустарников более 50 см кровля ММП залегает ниже 1 м, не сливаясь с сезонной мерзлотой. Здесь формируются немерзлотные и глубокомерзлотные типы профилей почв, что согласуется с аналогичными выводами, сделанными ранее для южной тундры [Мажитова, 2008]. При высоте кустарникового яруса более 80–100 см кровля ММП в пределах 2 м не обнаруживается.

СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Известно, что глубина сезонного протаивания обратно пропорциональна значениям нормализованного относительного индекса растительности (NDVI). Это позволяет напрямую картографировать глубину сезонного протаивания на основе данных дистанционного зондирования [Хомутов, 2010]. При дешифрировании растительного покрова ключевого участка спектральные характеристики различных классов растительности определяются высоким уровнем разделимости, особенно участки с высокими ивняками [Елсаков, Кулюгина, 2014].

Расчеты среднего NDVI для каждой группы растительных сообществ выявили их дифференцированность по данному индексу (см. табл. 2). Анализ индексов растительности показал, что кроме NDVI можно также использовать индекс нарушенности почвенно-растительного покрова (DI). Сообщества с немерзлотными почвами (высокие ивняки и тундровые луга) четко дифференцируются по высоким значениям индекса NDVI (см. табл. 2). Растительные сообщества с $NDVI \leq 0.46$ и $DI \geq 0.2$ формируются преимущественно на почвах с подстилением ММП в пределах почвенного профиля (мерзлотные и глубокомерзлотные).

Необходимость анализа структуры почвенного покрова с учетом глубины сезонного протаивания обусловила построение крупномасштабной почвенной карты. Почвенная карта ключевого участка составлена на основе карты растительности с учетом соотношения классификационных типов почв и групп растительных сообществ. Анализ показал, что в структуре почвенного покрова доминируют глееземы в сочетании с локально распространенными торфяно-глееземами (см. рис. 4). При этом относительная доля автоморфных почв значительно выше, чем полугидроморфных торфяно-глееземов. Высокая доля автоморфных почв

обусловлена ландшафтным положением и спецификой развития предгорной равнины. Мерзлотные типы почв в совокупности занимают существенную часть ключевого участка (38 %). Тем не менее более половины площади участка (54 %) заняты глубокомерзлотными и немерзлотными типами профилей. Таким образом, анализ структуры почвенного покрова участка исследований позволяет дополнить результаты, полученные ранее [Елсаков, Кулюгина, 2014]: наступление крупнокустарниковой растительности в пределах Югорского полуострова в последние десятилетия сопровождается постепенным увеличением доли глубокомерзлотных и немерзлотных почв.

ВЫВОДЫ

На участке исследований выделено семь основных групп растительных сообществ и характерных для них почв. На почвах с близким к поверхности подстиланием ММП выделено четыре группы растительных сообществ: осоково-кустарничково-моховые и травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры на глееземах, осоково-моховые и морошково-сфагновые болота на глееземах и торфяно-глееземах. Редкоивняковые тундры широко развиты на глееземах и торфяно-глееземах с глубиной залегания кровли ММП в пределах 1–2 м. На немерзлотных глееземах и темногумусовых глеевых почвах, в которых ММП залегают на глубине более 2 м, развиты преимущественно крупноивняковые и луговые сообщества.

При полевых исследованиях тундровых почв в середине вегетационного периода целесообразно рассматривать их как систему сочетания талых и мерзлых горизонтов. Выделены следующие типы почвенных профилей с различными мерзлотными условиями: мерзлотные, глубокомерзлотные и немерзлотные (с глубоким или поверхностным сезонным промерзанием почвы).

Дифференциация глубины сезонного протаивания мерзлотных почв в кустарничковых и болотных сообществах обусловлена пространственной неоднородностью мощности торфянистого горизонта ($r = -0.6$, p -level < 0.05). В ивняковых тундрах глубина протаивания удовлетворительно ($r = 0.72$, p -level < 0.05) коррелирует с высотой кустарникового яруса.

Определение взаимосвязей между группами растительных сообществ и типами почв позволяет построить почвенную карту на основе карты растительности. В структуре почвенного покрова ключевого участка доминируют глееземы в сочетании с локально распространенными торфяно-глееземами. Мерзлотные типы почвенных профилей занимают значительную долю площади ключевого участка (38 %). Около 54 % площади участка занято глубокомерзлотными и немерзлот-

ными почвами, что является следствием наступления крупнокустарниковой растительности в пределах Югорского полуострова в последние десятилетия.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ Коми НЦ УрО РАН “Пространственно-временные закономерности формирования торфяных почв на европейском северо-востоке России и их трансформации в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия” (Гр. 115020910065); при поддержке проекта Президиума РАН № 15-15-4-46 “Взаимосвязь биоразнообразия и биопродукционного потенциала наземных экосистем Европейской Арктики с особенностями формирования мерзлотных почв и динамическими аспектами их трансформации в современных условиях климата”; в рамках Комплексной программы УрРАН № 15-2-4-28 “Биогеохимические процессы как основа устойчивого функционирования почв Арктики в условиях меняющейся природной среды (на примере равнинных и горных экосистем)”.

Литература

- Александрова В.Д.** Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики / В.Д. Александрова. Л., Наука, 1977, 189 с.
- Андреев В.Н.** Растительность и природные районы восточной части Большеземельской тундры // Тр. Полярной комиссии. М.; Л., 1935, вып. 22, 97 с.
- Атлас** Архангельской области / Под ред. Д.Ф. Федорова. М., ГУГК, 1976, 72 с.
- Геокриологическая** карта СССР, м-б 1:2,5 млн / Отв. ред. Э.Д. Ершов, К.А. Кондратьева. М., Мин-во геологии СССР; МГУ, 1998, 126 с.
- ГОСТ 26262-84.** Грунты. Методы полевого определения глубины сезонного оттаивания. М., ИПК Изд-во стандартов, 1984, 6 с.
- Грибова С.А.** Северные тундры. Южные тундры // Растительность европейской части СССР. Л., Наука, 1980, с. 52–61.
- Данилов И.Д.** Рельеф и четвертичные отложения юго-западного склона Пай-Хоя // Вестн. Моск. ун-та. Сер. V. География, 1962, № 6, с. 56–62.
- Добровольский В.В.** География почв с основами почвоведения: Учеб. для вузов / В.В. Добровольский. М., Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999, 384 с.
- Елсаков В.В.** Материалы спутниковых съемок в анализе значений хлорофилльного индекса тундровых фитоценозов // Исследование Земли из космоса, 2013, № 1, с. 60–70.
- Елсаков В.В., Кулюгина Е.Е.** Растительный покров Югорского полуострова в условиях климатических флуктуаций последних десятилетий // Исследование Земли из космоса, 2014, № 3, с. 65–77.
- Игнатов М.С., Афонина О.М., Игнатова Е.А.** Список мхов Восточной Европы и Северной Азии // Arctoa, 2006, т. 15, с. 1–130.
- Классификация** и диагностика почв России / Авт. и сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск, Ойкумена, 2004, 342 с.

- Королева Н.Е., Кулюгина Е.Е.** История ботанических исследований и уровень изученности растительности европейской субарктики // Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов Севера: Материалы XI Перфильевских науч. чтений, посвящ. 125-летию со дня рождения Ивана Александровича Перфильева (1882–1942) (Архангельск, 23–25 мая 2007 г.). Архангельск, 2007, ч. 1, с. 70–75.
- Королева Н.Е., Кулюгина Е.Е.** К синтаксономии дриадовых тундр европейского сектора Российской субарктики // Тр. Карел. НЦ РАН, 2015, № 4, с. 3–29.
- Кучеров И.Б., Паянская-Гвоздева И.И.** Методы описания состояния растительности // Антропогенная динамика растительного покрова Арктики и Субарктики: принципы и методы изучения / Под ред. Б.А. Юрцева. Тр. БИН РАН. СПб., 1995, вып. 15, с. 51–63.
- Лавриненко И.А.** Картирование растительности оленьих пастбищ Югорского полуострова с использованием дистанционных методов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М., 2010, вып. 7, т. 1, с. 246–253.
- Мажитова Г.Г.** Температурные режимы почв в зоне несплошной многолетней мерзлоты европейского Северо-Востока России // Почвоведение, 2008, № 1, с. 54–67.
- Мажитова Г.Г., Каверин Д.А.** Динамика глубины сезонного протаивания и осадки поверхности почвы на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя (CALM) в европейской части России // Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 4, с. 20–30.
- Матвеева Н.В.** Зональность в растительном покрове Арктики. СПб., 1998, 220 с. (Тр. Бот. ин-та им. В.Л. Комарова; Вып. 21).
- Миркин Б.М.** Современная наука о растительности / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова, А.И. Соломещ. М., Логос, 2001, 264 с.
- Новиковский А.Б.** Обзор современных программных средств, используемых для анализа геоботанических данных // Растительность России, 2006, № 9, с. 86–95.
- Оберман Н.Г., Шеслер И.Г.** Современные и прогнозируемые изменения мерзлотных условий Европейского северо-востока Российской Федерации // Проблемы Севера и Арктики Российской Федерации: Науч.-информ. бюл., 2009, вып. 9, с. 96–106.
- Полевой** определитель почв. М., Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008, 182 с.
- Почвенная карта РСФСР**, м-б 1:2,5 млн. Лист 6 / Отв. ред. В.М. Фридланд. М., ГУТК, 1988, 16 л.
- Тетерюк Б.Ю., Кулюгина Е.Е.** Растительный покров водных и околоводных местообитаний Большеземельской тундры и высокоширотных секторов Урала // Растительность Восточной Европы и Северной Азии: Материалы Междунар. науч. конф. (Брянск, 29 сент.–3 окт. 2014 г.). Брянск, ГУП “Брянское полиграф. объединение”, 2014, с. 138.
- Тыртиков А.П.** Влияние растительности на температуру почв в области многолетнемерзлых грунтов // Вестн. Моск. ун-та, 1966, № 5, с. 85–90.
- Тыртиков А.П.** Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов / А.П. Тыртиков. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969, 192 с.
- Хомутов А.В.** Связь естественных криогенных процессов с динамикой тундровых ландшафтов на примере подзоны типичных тундр Карского региона: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Тюмень, 2010, 20 с.
- Черепанов С.К.** Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С.К. Черепанов. СПб., Мир и семья, 1995, 992 с.
- Шаманова И.И.** Влияние снега, растительного покрова и распашки на тепловое состояние грунтов в районе Воркуты // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар, Коми кн. изд-во, 1970, с. 186–194.
- IUSS Working Group WRB.** World reference base for soil resources: 3rd ed. World Soil Res. Rep. No. 106. FAO, Rome, 2014, 145 p.
- Kulyugina E.** Vegetation of the Vasyakha river basin (Yugorsky Peninsula, Pai-Hoy ridge) – case study of vegetation diversity in the European sector of Russian Arctic // CAFF Proc. Ser. Rep., No. 10, September, 2013 (Arctic Vegetation Archive (AVA) Workshop Krakow, Poland, 14–16 April 2013), p. 60–63.
- Mazhitova G., Malkova G., Chestnykh O.** Active layer spatial and temporal variability at European Russian Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) sites // Permafrost and Periglacial Processes, 2004, No. 15, p. 123–139.
- Santesson R.** The lichens and lichenicolous fungi of Sweden and Norway / R. Santesson. Lund, SBT-förlaget, 1993, 240 p.
- Soil Taxonomy.** By Soil Survey Staff: 2nd ed. New York, U.S. Department of Agriculture, Nat. Resour. Conserv. Serv., Agriculture. Handbook, 1999, No. 436, 869 p.
- Weber H.E., Moravec J., Theurillat J.-P.** International code of phytosociological nomenclature // J. Vegetation Sci., 2000, vol. 11, p. 739–768.

Поступила в редакцию
23 апреля 2015 г.