

УДК 635.925:631.42

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МЕРЗЛОТНЫХ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ КУЛЬТУР ЕЛИ¹

© 2021 г. А. П. Чевычелов^а, Л. П. Габышева^а, А. П. Исаев^а, Т. С. Коробкова^а, А. А. Алексеев^а, *^аИнститут биологических проблем криолитозоны СО РАН, просп. Ленина 41, Якутск, 677980 Россия

*E-mail: chev.soil@list.ru

Поступила в редакцию 20.04.2020 г.

После доработки 19.06.2020 г.

Принята к публикации 03.02.2021 г.

Изучено влияние еловых насаждений (*Picea obovata* Ledeb.) на изменение морфологических характеристик, состава и свойств мерзлотной лугово-черноземной почвы Центральной Якутии, формирующейся в условиях криоаридного климата, под лугово-степной растительностью, в окрестностях г. Якутска. Показано, что за 45-летний период воздействия исходный морфологический профиль первичной почвы, который имел вид: Wca–AUca–ABca–BCa–VScа–Cca трансформировался в профиль лесной перегнойно-карбонатной почвы, характеризующейся следующим строением: O–OH–AJ–ABca–BCa–BC–Cca. Отмечено, что изменение морфологического строения целинной почвы произошло посредством формирования горизонтов лесной подстилки O и подстильно-перегнойного OH, а также уменьшение мощности сезонно-талого слоя со 123 до 102 см и опускание глубины вскипания от 10-й % HCl до 26 см от поверхности, идентифицирующей наличие в почве подвижных карбонатов CaCO₃ и MgCO₃. Также выявлено, что помимо морфологии существенно изменились состав и свойства перегнойно-карбонатной по сравнению с таковыми лугово-черноземной почвы. Так, в гор. AJ и ABca данной почвы значения pH водной вытяжки уменьшились соответственно на 1.0–0.7. В почвенной толще (0–100 см) лесной почвы по сравнению с лугово-степной в целом увеличилось общее количество обменных оснований Ca⁺² и Mg⁺² в 1.2 раза, сумма солей – в 1.5 раза, содержание общего N и органического C в 3.2 и 1.7 раза соответственно, но при этом уменьшилось количество подвижных карбонатов в 2.9 раза. Помимо этого изменились строение магнитного и солевого профилей изучаемых почв, их степень и химизм засоления, а также тип водного режима с криогенно-выпотного на мерзлотный периодически-промывной в связи со сменой растительности, произрастающей на данных почвах.

Ключевые слова: криолитозона, еловые насаждения, трансформация свойств и состава мерзлотных почв.

DOI: 10.31857/S0024114821030037

Влиянию лесной растительности на формирование, а также изменение свойств и состава почв посвящено значительное число публикаций (Зонн, 1954; Карпачевский, 1981, 1996; Беляев, 2007; Карпачевский и др., 2007; Мошкина, 2008; Анциферова, 2010; Лукина и др., 2010; Егунова, Бескорвайная, 2015; Ведрова и др., 2018; Benkley, Giardina, 1998; Kourtev et al., 1998; Phillips, Firtz Patrick, 1999; Raich, Tufekciogul, 2000; Ganuza, Al-mendros, 2003; Rech et al., 2005; Chang et al., 2011; Wu et al., 2015; Bargali et al., 2018; Lukina et al., 2019 и др.). Но, к сожалению, большая часть данных исследований в географическом отношении относится к немерзлотным регионам России и За-рубежья. Наши же исследования проводились на

территории Центральной Якутии, где леса произрастают на криогенных почвах, которые формируются на многолетнемерзлых почвообразующих породах в условиях криоаридного климата (Поздняков, 1975; Щербаков, 1975; Уткин, 2006).

Одним из способов комплексного изучения влияния древесной породы на почву является закладка пробных площадей на однотипных соседних участках с посадкой разных древесных культур. Главное достоинство такого подхода – возможность отделить влияние древостоя от других почвообразующих факторов (Солодовников, Рожков, 2019). В частности подобные эксперименты, где до последнего времени проводятся почвенные и лесоводственные мониторинговые исследования, были заложены в 1928–1930 гг. на территории лесостепи Европейской России (Шатиловский лес) на выщелоченных черноземах (Беляев, 2007) и в 1968 г. в южной тайге Средней

¹ Статья подготовлена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0297-2021-0027, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190033-5).

Сибири на старопашотных темно-серых почвах (Евгунова, Бескорвайная, 2015; Ведрова и др., 2018). Аналогичные работы по изучению влияния различных древесных пород на свойства почв в условиях лесостепи Алтайского края, были проведены также на территории дендрария НИИС им. М.А. Лисавенко (Макарычев, Лебедева, 2016, 2017).

В условиях мерзлотной области на территории Якутии такие исследования проведены впервые. По нашему мнению их научная значимость существенно возрастает, если учесть то обстоятельство, что еловые древостои в естественном состоянии на водоразделах Центральной Якутии не произрастают, вследствие высокой горимости лесов данного региона криолитозоны (Чугунов, 1965; Исаев, 2011).

Целью настоящей статьи являлась оценка влияния еловых насаждений на изменение свойств и состава мерзлотных лугово-черноземных почв в криоаридных условиях Центральной Якутии за 45-летний период воздействия.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Наши исследования проводились на территории Центрально-Якутской равнины в окрестностях г. Якутска. Климат района работ характеризуется как криоаридный и резко континентальный, при этом среднемесячная температура июля составляет 18.7° , января — (-43.2°) , среднегодовая $t - (-10.3^{\circ})$, среднегодовое количество осадков — 234 мм, количество осадков за вегетационный период — 158 мм, испаряемость — 502 мм, коэффициент увлажнения — 0.3, коэффициент континентальности — 302, сумма активных температур ($\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}$) — 1565°C (Чевычелов и др., 2009).

Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) — это стабильный эдификатор или субэдификатор темнохвойных лесов лишь по ключам, руслам рек и речек. На большей части территории встречается в виде незначительной примеси в лесах, образуемых пихтой сибирской и кедром сибирским, иногда в речных поймах совместно с лиственницей и лиственными породами. Мезофит, мезотроф, теневынослива, несолеустойчива, характеризуется медленным ростом (Коропачинский, Встовская, 2002). В Якутии ель сибирская образует чистые и смешанные леса в долинах крупных рек таких, как Лена, Алдан, Вилюй и др. (Конспект ..., 2012).

В условиях Центральной Якутии ель сибирская для интродукции и озеленения является ценным и перспективным видом древесных растений. При этом по суммарному показателю жизнеспособности (95 баллов) ель сибирская не уступает лиственнице даурской (95 баллов) и лишь чуть уступает сосне обыкновенной (98 баллов)

(Петрова, 1987). Также ель сибирская, будучи более требовательной породой к почвенной среде по сравнению с сосной и лиственницей, при создании ей в культуре хороших условий влажности и питательности, значительно ускоряет рост (Чугунова, 1965).

Якутский ботанический сад (ЯБС) был образован 2 марта 1962 г. (Чугунова, 1965), а началом работы по созданию участка ельника на территории ЯБС являлись посевы ели сибирской, осуществленные З.Е. Чугуновой в 1963 г. на суглинистом пологом приозерном склоне. При этом семена ели, предварительно собранные в долине р. Алдан на территории Южной Якутии, высаживали в бороздки глубиной 3–5 см, поливали и удобряли. Пятилетние растения ели имели высоту около 25 см. В возрасте 9 лет, то есть в 1972 г. сеянцы пересадили на постоянное место в приозерной части ЯБС, которое именовалось как групповые посадки ели. Для этого закладывались специальные траншеи шириной 1.0 м и глубиной 1.5 м, заполненные снизу дренажом (галька и песок) и послойно сверху — плодородным слоем почв в смеси с грунтом (незасоленная почва, песок и перегной). Саженцы также удобряли, мульчировали с поверхности и обильно поливали в период вегетации, а в возрасте 15 лет провели формирующую обрезку крон. Примерно в это же время на местах посадки ели сибирской в ЯБС стал формироваться моховой покров.

Полевые исследования, включающие описание почв и растительности, а также отбор почвенных образцов, были проведены в 2018–2019 гг. на участках 1 и 2. При этом почвенный разрез 1 был заложен примерно в центре участка 1 на почве, не подверженной ранее антропогенному воздействию. В качестве объекта сравнения использовали почву разреза 2, который был заложен в 10 м от края участка 2 на разнотравно-злаковом лугу. Таким образом, два данных почвенных разреза были заложены на ровной поверхности одного высотного уровня и примерно в 60 м друг от друга (рис. 1). Для соблюдения принципа идентичности почвенные образцы из этих разрезов отбирались для анализов по генетическим горизонтам с одних и тех же глубин с 10 см от поверхности.

Приведем описания растительности и почв, которые рассматриваются в качестве объектов исследования. При этом проведено таксационное описание лесных культур ели. Всего в древесном пологе было учтено 43 ствола. В исследованных культурах средний возраст ели на 2019 г. составлял 45 лет, максимальный — 57 лет, т.е. они были посажены в период с 1963 по 1975 гг. Ели были высажены в 5 рядов: первые 3 ряда ровные, размер посадок 3 м × 2 м. Пространственно посадки разделены на 2 участка, отличающихся также составом растительного покрова (рис. 1).

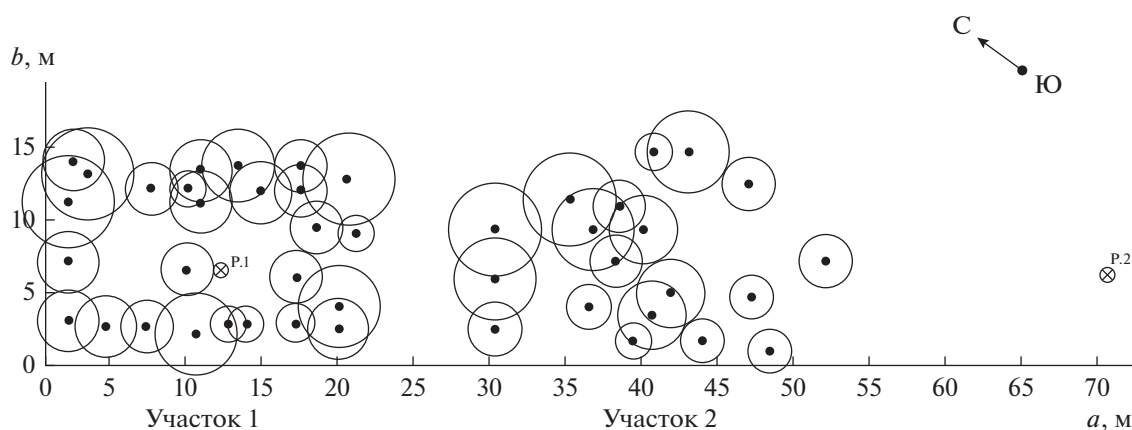


Рис. 1. Проекция крон еловых насаждений и места заложения почвенных разрезов 1 и 2 на территории Якутского ботанического сада.

Участок 1. Еловое сообщество разнотравно-зеленомошное. Дата обследования 17.08.2018, размер участка – 25 м × 15 м. Под пологом древостоя идет естественное возобновление ели на более открытом пространстве – в окнах леса с моховым покровом. Средняя высота подроста 25 см, максимальная – 32 см. Подрост здоровый, единично встречаются засыхающие всходы. На 1 га насчитывается 48.9 тыс. экз. подроста и всходов ели, из них всходов до 10 см – 6.3 тыс. экз. на га. Из кустарников единично отмечены *Salix bebbiana* высотой 50 см, а также культуры яблони (*Malus baccata*).

Растительность еловых культур имеет уже сформированную структуру и состав, похожие на естественный разнотравно-зеленомошный еловый лес, но с присутствием некоторых рудеральных видов – пырея ползучего (*Elytrigia repens*), люцерны серповидной (*Medicago falcata*). Травяной покров развит, проективное покрытие 40%. Доминантами выступают сорный вид пырей ползучий, из бобовых – астрагал сходный (*Astragal propinquus*), встречаются сосюра горькая (*Saussurea amara*), бодяк щетинистый (*Bidens tripartita*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), единично произрастают солонечник даурский (*Galatella dahurica*), мышиный горошек (*Vicia cracca*), клевер люпиновидный (*Lupinaster pentaphyllus*), одуванчик рогатый (*Taraxacum ceratophorum*), люцерна серповидная, полынь пижмолистная (*Artemisia tanacetifolia*). Моховой покров густой, проективное покрытие составляет 90%, образован в основном из мха *Rhytidium rugosum*, рассеянно встречается лишайник *Peltigera canina* (рис. 2).

Участок 2. Еловое сообщество пырейно-разнотравное, обследовано 17.08.2018, размер участка – 25 м × 15 м.

В “окнах” древесного полога произрастает самосев березы повислой (*Betula pendula*), ивы Бебба, ивы грушанколистной (*Salix pyrolifolia*) и ели

сибирской высотой до 50 см. На 1 га насчитывается 14.4 тыс. экз. подроста и всходов ели, из них 2.6 тыс. экз. – всходы до 10 см. Также в окнах неплохо себя чувствуют культуры смородины (*Ribes pauciflorum*, высота – 30 см), ели сибирской голубой (высота 49–61 см), акации желтой (*Caragana arborescens*, 110 см) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*, 200 см). Травяной покров хорошо развит, представлен в основном рудеральными видами, проективное покрытие яруса 70%. Господствующие виды – пырей ползучий, люцерна серповидная, подорожник средний (*Plantago media*), хрен гулявниковый (*Armoracia sysimbrioides*). Рассеянно встречаются кровохлебка аптечная (*Sanguisorba officinalis*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), бодяк щетинистый, единично произрастают астрагал сходный, девясил британский (*Inula britannica*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), герань псевдосибирская (*Geranium pseudosibiricum*), герань луговая (*Geranium pratense*), осот полевой (*Sonchus arvensis*), одуванчик рогатый, мышиный горошек. Отличается от предыдущего отсутствием мохово-лишайникового покрова, который как ярус не сформирован.

По основным таксационным показателям сформированные древостои обоих участков близки, в связи с чем приводим их обобщенные характеристики (табл. 1).

Почвенный разрез 1 заложен 26.07.2018 на территории ЯБС, в контуре ельника разнотравно-зеленомошного. Географические координаты: 62°01'20.5" с.ш., 129°37'15.7" в.д., абсолютная высота – 98.5 м. Морфологическое строение профиля почв: О(0–5)–ОН(5–8)–АЖ(8–26)–АВса(26–37)–ВСа(37–72)–ВС(72–86)–Сса(86–102 см).

О, 0–5 см. Бурая, рыхлая, влажная лесная подстилка, состоящая в основном из мохового опада, к низу среднеразложившегося, переход заметный.



Рис. 2. Участок 1 еловых насаждений на территории Якутского ботанического сада.

ОН, 5–8 см. Темно-бурый, органогенный, подстильно-перегнойный, слабо увлажнен, переход в следующий горизонт ясный.

АJ, 8–26 см. Серый с коричневатым оттенком, непрочно-мелкокомковатый, легкий суглинок, средне увлажнен, с включением мелких черных древесных углей по всей массе горизонта, переход постепенный.

АВса, 26–37 см. Буровато-серый, непрочно-мелкокомковатый, легкий суглинок, влажный, вскипает от 10-й % HCl, вскипание слабое, переход в следующий горизонт ясный.

ВСА, 37–72 см. Светло-бурый с белесоватым оттенком, непрочно-мелкокомковатый, легкий суглинок, влажный, вскипает от HCl, вскипание среднее, переход заметный.

Таблица 1. Основные таксационные характеристики елового древостоя

№	Таксационный показатель	<i>M</i>	$\pm m$	C.V., %
1	Количество стволов, экз. га ⁻¹	2150	—	—
2	Сомкнутость крон	0.8	—	—
3	Средний диаметр ствола, см	18.5	0.74	25.4
4	Средняя высота ствола, м	14.2	0.39	19.5
5	Максимальный диаметр ствола, см	30.6	—	—
6	Максимальная высота ствола, м	17.8	—	—
7	Сумма площадей сечения, м ² га ⁻¹	16.3	—	—
8	Средний возраст, лет	45.0	1.81	26.4
9	Максимальный возраст, лет	57.0	—	—
10	Общий запас древесины, м ³ га ⁻¹	128.8	—	—
11	Средний прирост в высоту, см в год	31.6	—	—
12	Средний прирост в толщину, см в год	0.4	—	—
13	Средний прирост по запасу, м ³ га ⁻¹ в год	2.87	—	—

Примечание. *M* – среднее значение, *m* – ошибка среднего, C.V. – коэффициент вариации.

ВС, 72–86 см. Неоднородный по цвету и механическому составу, представляет чередование прослоек белесовато-светло-серого песка и расположенной по середине прослойки буровато-светло-серого легкого суглинка, с мелкими охристыми пятнами Fe^{+3} , бесструктурный, влажный, переход в следующий горизонт ясный.

Сса, 86–102 см. Белесовато-светло-серый мелкозернистый песок, бесструктурный, влажный, среднее вскипание от HCl, со 102 см мерзлый, льдистый.

Почва: мерзлотная перегнойно-карбонатная.

Почвенный разрез 2 заложен 24.09.2018 на ровной поверхности, географические координаты: 62°01'20.2" с.ш., 129°37'19.5" в.д., абсолютная высота – 98.2 м. Разнотравно-злаковый луг, травостой густой, высота травостоя 70–80 см. В травостое доминируют: пырей ползучий, мятлик луговой. Реже встречаются: одуванчик рогатый, незабудка подражающая (*Myosotis imitata*), ветреница лесная (*Anemone sylvestris*), герань луговая, тысячелистник обыкновенный, овсяница луговая (*Festuca pratensis*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), подорожник средний, подорожник большой (*Plantago major*), люцерна серповидная. Морфологическое строение профиля почв: Wca(0–2)–AUca(2–20)–ABca(20–41)–BCA(41–60)–BCca(60–85)–Cca(85–123 см).

Wca, 0–2 см. Буровато-серый, рыхлый, влажный, супесчаный, вскипает от HCl, вскипание среднее, переход в следующий горизонт постепенный.

AUca, 2–20 см. Темно-серый, мелкокомковато-пылеватый, среднесуглинистый, пронизан сеткой мелких живых корней травянистых растений, влажный, с включением мелких черных древесных углей по всей массе горизонта, бурно вскипает от HCl, серыми гумусовыми затеками переходит в следующий горизонт, переход заметный.

ABca, 20–41 см. Светло-серый с белесоватым оттенком, комковато-мелкопылеватый, средний суглинок, влажный, вскипает от HCl, вскипание бурное, переход заметный.

BCA, 41–60 см. Буровато-белесоватый, непрочнo-мелкокомковатый с отдельными серыми пятнами и затеками гумуса, среднесуглинистый, влажный, бурно вскипает от HCl, переход в следующий горизонт заметный.

BCca, 60–85 см. Белесовато-светло-бурый с серыми мелкими пятнами Mn^{+2} и охристыми пятнами Fe^{+3} , непрочнo-мелкокомковатый, средний суглинок, влажный, вскипает от HCl, вскипание бурное, переход постепенный.

Cca, 85–123 см. В основном бурый, непрочнo-мелкокомковатый, легкосуглинистый, с прослойками светло-серой супеси, с мелкими серыми пятнами Mn^{+2} и охристыми пятнами Fe^{+3} ,

бурно вскипает от HCl, влажный, со 123 см мерзлый, льдистый.

Почва: мерзлотная лугово-черноземная.

При проведении почвенных исследований использовали профильно-генетический (Розанов, 1983) и сравнительно-аналитический (Роде, 1971) методы, а также общепринятые методики лабораторных аналитических работ (Аринушкина, 1970; Воробьева, 1989). Индексацию генетических горизонтов проводили по классификации почв России (Классификация ..., 2004), а определение почв – по классификации почв Якутии (Еловская, 1987). При этом рН определялся потенциометрически на иономере “Мультист ИПЛ-101”, органический углерод – мокрым сжиганием по Тюрину, обменные катионы – по Шмуку, гранулометрический состав – по Качинскому (Качинский, 1958), CO_2 карбонатов – газоволюметрическим методом (Практикум ..., 1980). Объемная магнитная восприимчивость (ОМВ) определялась на малогабаритном измерителе магнитной восприимчивости КМ-7, который является усовершенствованной версией каппаметра КТ-6. Величину удельной магнитной восприимчивости (УМВ) получали путем деления значения ОМВ на плотность почвы ρ (выраженную в $kg\ m^{-3}$), т.е. $\chi = \chi/\rho$. Размерность удельной магнитной восприимчивости – $10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ (Вадюнина, Корчагина, 1973; Водяницкий, Шоба, 2015). Математическая обработка результатов анализов осуществлялась посредством методов математической статистики, принятых в почвоведении (Дмитриев, 2009).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика таксационных показателей ели сибирской в посадках свидетельствует о высоких темпах роста деревьев. В возрасте 45 (максимально 57) лет стволы достигают в среднем 14.2 м в высоту, 18.5 см в толщину, средний прирост в высоту составляет 31.6 см, по толщине – 0.4 см (табл. 1). Это говорит о сформировавшихся благоприятных условиях для данной древесной породы. При этом не отмечены видимые признаки заселения насекомыми, повреждения, усыхания.

Во всех горизонтах лугово-черноземной почвы отмечались свободные карбонаты ($CaCO_3$ и $MgCO_3$) с максимумом содержания в гор. ВСА (табл. 2), т.е. данная почва вскипала от 10-й % HCl с поверхности, а многолетняя мерзлота отмечалась на глубине 123 см. Лесная перегнойно-карбонатная почва уже вскипала только с верхней границы гор. АВса или с 26 см, а многолетняя мерзлота была зафиксирована на глубине 102 см, т.е. на 21 см выше, чем в целинной почве. Последнее вполне объяснимо, если учесть, что на поверхности почвы разреза 1 за прошедшие 45 лет сформировался теплоизолирующий слой мощностью 13 см, состоящий

Таблица 2. Физико-химические свойства мерзлотных почв

Горизонт	Глубина, см	pH _{H₂O}	C _{орг} , %	N, %	C:N	Обменные катионы, смоль(экв) кг ⁻¹ почвы			CO ₂ , карбонатов, %
						Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	
Мерзлотная перегнойно-карбонатная, разрез 1									
О	0–5	6.0	–	0.82	–	68.2	39.6	–	–
ОН	5–8	6.4	27.21	1.04	26	60.0	34.1	–	Не.обн.
АJ	10–20	8.0	2.65	0.18	15	15.7	13.6	1.1	То же
АВса	26–36	8.6	2.22	0.11	20	12.3	11.3	1.0	2.3
ВСА	50–60	9.1	0.29	0.03	10	9.1	3.0	0.7	5.3
ВС	75–85	8.8	0.12	0.02	6	7.1	3.0	0.4	То же
Сса	90–100	9.1	0.06	0.01	6	5.0	2.0	0.1	2.5
Мерзлотная лугово-черноземная, разрез 2									
Wca	0–2	8.0	7.22	0.21	34	14.5	17.4	–	4.0
AUca	10–20	9.0	2.89	0.13	12	8.2	16.5	1.4	5.7
АВса	26–36	9.3	0.93	0.02	46	7.1	9.1	1.2	8.4
ВСА	50–60	9.2	0.21	0.02	10	7.1	6.1	0.3	9.2
ВСа	75–85	8.9	0.16	0.01	16	7.4	10.2	0.2	6.2
Сса	90–100	8.9	0.10	0.01	10	7.6	10.6	0.3	6.5

Примечание. Не.обн. – не обнаружено; “–” – значение не определено.

из горизонтов лесной подстилки О и подстиочно-перегнойного ОН. Помимо морфологии также существенно изменились состав и свойства исследуемых почв (табл. 2–5). Так, в гор. АJ и АВса почвы разреза 1 значения pH водной вытяжки соответственно уменьшились на 1.0–0.7 от первоначальных, также значительно возросло содержание общего N в гор. ОН, АВса и ВСА и органического С – в гор. ОН и АВса. В гумусовой части профиля (гор. АJ + АВ) перегнойно-карбонатной почвы также увеличилось общее количество обменных оснований Ca⁺² и Mg⁺² соответственно до 30.4–24.6 смоль(экв) кг⁻¹ почвы, главным образом за счет катиона Ca⁺². В исследуемых почвах также значительно уменьшилось содержание подвижных карбонатов, что отмечается по снижению значений CO₂ карбонатов в целом в 1.7 раза с 4.0–9.2% (табл. 2, разрез 2) до 2.3–5.3% (разрез 1). Но при этом максимальное содержание свободных карбонатов в обеих почвах отмечается в аккумулятивно-карбонатном гор. ВСА.

Перегнойно-карбонатная почва (табл. 3, разрез 1) характеризуется более легким супесчано-легкосуглинистым, тогда как лугово-черноземная – в основном среднесуглинистым гранулометрическим составом (разрез 2) минеральных почвенных горизонтов. При этом нужно подчеркнуть, что почва разреза 1 развивается на песчаных, а почва разреза 2 – на легкосуглинистых аллювиальных отложениях II надпойменной террасы р. Лена, для которых весьма характерна сло-

истость и контрастность гранулометрического состава (Усков, 1985). Таким образом, нужно полагать, что существенные различия в гранулометрическом составе изучаемых почв, являются следствием, прежде всего неоднородности состава их почвообразующих пород, а не результатом педогенеза. Между тем нельзя не заметить сходство гранулометрического состава и содержания отдельных фракций механических элементов в гор. АJ (табл. 3, разрез 1) и гор. Wca (разрез 2) данных почв, а также различия в их количестве, отмечаемые в нижележащих горизонтах АВса и ВСА. Следовательно, необходимо также предполагать, что облегчение гранулометрического состава лесной перегнойно-карбонатной почвы по сравнению с целинной лугово-черноземной является также следствием влияния процесса выщелачивания. Латеральная миграция влаги, вероятно, происходила в периоды влагонасыщения почвенного профиля в условиях наличия мерзлотного влагонепроницаемого экрана, в связи со сменой водного режима данных почв с криогенно-выпотного на мерзлотный периодически промывной. Только этим можно объяснить уменьшение содержания фракции средней и мелкой пыли в гор. АВса и ВСА почвы разреза 1 (табл. 3), а также одновременное снижение в данных горизонтах количества подвижных карбонатов соответственно с 8.4 до 2.3% и с 9.2 до 5.3%. Подвижные карбонаты в изучаемых почвах обычно обнаруживаются во фракциях средней (0.01–0.005 мм)

Таблица 3. Гранулометрический состав мерзлотных почв

Горизонт	Глубина, см	Содержание частиц, %; размер, мм					Сумма частиц, %	
		1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001 мм	<0.01 мм
Мерзлотная перегнойно-карбонатная, разрез 1								
AJ	10–20	12.0	51.6	15.7	4.7	7.5	8.5	20.7
ABca	26–36	11.2	51.6	14.8	4.9	7.0	10.5	22.4
BCA	50–60	11.8	55.0	8.6	4.5	7.3	12.8	24.6
BC	75–85	8.7	65.0	11.4	3.3	3.4	8.2	14.9
Cca	90–100	15.1	76.0	3.3	0.2	0.8	4.6	5.6
Мерзлотная лугово-черноземная, разрез 2								
Wca	0–2	12.6	48.3	19.7	4.8	7.1	7.5	19.4
AUca	10–20	5.4	42.5	19.9	5.3	9.5	17.4	32.2
ABca	26–36	4.2	40.1	17.2	5.8	12.5	20.2	38.5
BCA	50–60	4.9	39.5	18.3	7.3	13.4	16.6	37.3
BCca	75–85	0.8	35.9	24.7	8.0	14.4	16.2	38.6
Cca	90–100	0.3	43.5	30.1	5.5	8.3	12.3	26.1

и мелкой (0.005–0.001 мм) пыли, поэтому не случайно были получены коэффициенты корреляции для связей данных показателей с общим содержанием CO₂ карбонатов, которые оказались соответственно равны $r = 0.507$ и $r = 0.693$.

Исследуемые почвы также оказались довольно разными по строению солевых профилей, степени и химизму засоления (табл. 4). Так, целинная лугово-черноземная почва разреза 2 характеризовалась аккумулятивным типом солевого профиля с максимальным содержанием солей в поверхностном гор. AUca, в то время как максимум засоления в перегнойно-карбонатной почве отмечался в гор. ABca. Горизонты Cca в обеих почвах оказались незасоленными, также как и гор. BCca в целинной почве разреза 2. Наиболее засоленным оказался гор. ABca перегнойно-карбонатной почвы разреза 1, который согласно известным грациям (Еловская, 1987) диагностируется как хлоридно-сульфатный магниевый-натриевый солончак. Нижние горизонты BCA и BC данной почвы характеризуются соответственно как средне- и слабозасоленные сульфатно-содовые кальциево-магниевые и магниевый-кальциевые, а гор. AJ – как средnezасоленный с хлоридно-сульфатным кальциево-магниевым типом засоления. Таким образом, почва разреза 1 имела двучленный солевой профиль: верхний (гор. AJ + ABca) – средnezасоленный и солончаковый хлоридно-сульфатный магниевый-натриевый и нижний (гор. BCA + BC) – средне- и слабозасоленный сульфатно-содовый – соответственно кальциево-магниевый и магниевый-кальциевый. В целинной почве разреза 2 солевой профиль был более-менее однородный по химизму солей и степени засоления; условно его можно разделить на две части: верхнюю (гор. AUca), где

фиксируется среднее засоление хлоридное кальциево-магниевое, и нижнюю (гор. ABca + BCA), где отмечается слабое засоление – соответственно хлоридно-сульфатное магниевый-кальциевый и сульфатно-хлоридное кальциево-магниевый.

Также необходимо отметить, что солевой профиль перегнойно-карбонатной почвы не характерен для мерзлотных лесных почв с периодически промывным типом водного режима, такой профиль в большей степени типичен для лугово-степных почв с криогенно-выпотным типом водного режима. Данное обстоятельство объясняется тем, что лето 2018 г. по метеорологическим условиям характеризовалось как крайне сухое, когда в течение всего июля не выпало ни одного дождя. Вероятно, в это время в условиях резкого дефицита влаги в почве разреза 1 и сформировался подобный нетипичный для лесных почв Центральной Якутии тип солевого профиля.

С учетом данных по объемной массе, мощности отдельных горизонтов и содержания в них анализируемых химических показателей, мы также рассчитали их средневзвешенные значения и запасы послойно в 1 м³ почвы в расчете на 1 м² (табл. 5). Таким образом было выявлено, что в почвенной толще (0–100 см) перегнойно-карбонатной почвы за 45-летний период воздействия лесной растительности по сравнению с целинной лугово-черноземной в целом увеличилось общее количество обменных оснований Ca⁺² и Mg⁺² в 1.2 раза, сумма солей – в 1.5 раза, содержание общего N и органического C – в 3.2 и 1.7 раза соответственно, но при этом уменьшилось количество подвижных карбонатов в 2.9 раза. За рассматриваемый период средние скорости накопления растворимых солей, общего азота и органического углерода в

Таблица 4. Состав водной вытяжки мерзлотных почв

Горизонт	Глубина, см	Ионы							Сумма солей, %
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	
Мерзлотная перегнойно-карбонатная, разрез 1									
AJ	10–20	<u>0.085</u>	<u>0.078</u>	<u>0.168</u>	<u>0.045</u>	<u>0.030</u>	<u>0.054</u>	<u>0.0021</u>	0.463
		1.40	2.25	0.50	2.25	2.50	2.35	0.06	
ABca	26–36	<u>0.085</u>	<u>0.059</u>	<u>0.112</u>	<u>0.024</u>	<u>1.79</u>	<u>0.055</u>	<u>0.0009</u>	2.124
		1.40	1.67	2.34	1.20	1.80	2.39	0.02	
BCA	50–60	<u>0.055</u>	<u>0.069</u>	<u>0.063</u>	<u>0.009</u>	<u>0.014</u>	<u>0.028</u>	<u>0.0003</u>	0.258
		0.90	1.97	1.32	0.45	1.15	1.23	0.01	
BC	75–85	<u>0.037</u>	<u>0.033</u>	<u>0.038</u>	<u>0.009</u>	<u>0.014</u>	<u>0.017</u>	<u>0.0002</u>	0.147
		0.60	0.95	0.78	0.45	1.15	0.73	0.01	
Cca	90–100	<u>0.037</u>	<u>0.009</u>	<u>0.011</u>	<u>0.008</u>	<u>0.006</u>	<u>0.004</u>	<u>0.0001</u>	0.075
		0.60	0.25	0.24	0.40	0.50	0.18	0.005	
Мерзлотная лугово-черноземная, разрез 2									
AUca	10–20	<u>0.226</u>	<u>0.024</u>	<u>0.170</u>	<u>0.021</u>	<u>0.034</u>	<u>0.093</u>	<u>0.0011</u>	0.569
		3.70	0.70	3.54	1.05	2.80	4.06	0.03	
ABca	26–36	<u>0.101</u>	<u>0.024</u>	<u>0.133</u>	<u>0.005</u>	<u>0.019</u>	<u>0.075</u>	<u>0.0003</u>	0.357
		1.65	0.70	2.77	0.25	1.6	3.26	0.01	
BCA	50–60	<u>0.146</u>	<u>0.010</u>	<u>0.021</u>	<u>0.020</u>	<u>0.014</u>	<u>0.022</u>	<u>0.0001</u>	0.234
		2.40	0.30	0.44	1.00	1.15	0.98	0.005	
BCca	75–85	<u>0.110</u>	<u>0.007</u>	<u>0.020</u>	<u>0.017</u>	<u>0.009</u>	<u>0.019</u>	<u>0.0001</u>	0.181
		1.80	0.20	0.41	0.85	0.75	0.81	0.005	
Cca	90–100	<u>0.070</u>	<u>0.009</u>	<u>0.032</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.027</u>	<u>0.0002</u>	0.152
		1.15	0.25	0.68	0.35	0.55	1.17	0.006	

Примечание. Содержание: в числителе – %, в знаменателе – мг-экв.

Таблица 5. Изменение свойств мерзлотных почв в процессе залесения

Слой, см	Объемная масса, кг м ⁻³	Сорг, %*	Общий N, %*	Сумма обменных оснований, смоль(экв) кг ⁻¹ почвы	Сумма солей, %	CO ₂ карбонатов, %
Мерзлотная лугово-черноземная, разрез 2						
0–50	1250	<u>1.76</u>	<u>0.07</u>	20.4	<u>0.397</u>	<u>7.4</u>
		11.00	0.44		2.48	46.25
50–100	1290	<u>0.15</u>	<u>0.01</u>	17.1	<u>0.183</u>	<u>6.9</u>
		0.97	0.06		1.18	44.50
0–100	–	<u>0.95</u>	<u>0.04</u>	18.8	<u>0.290</u>	<u>7.1</u>
		11.97	0.50		3.66	90.75
Мерзлотная перегнойно-карбонатная, разрез 1						
0–50	1070	<u>3.15</u>	<u>0.24</u>	36.1	<u>0.701</u>	<u>1.9</u>
		16.85	1.28		3.75	10.16
50–100	1410	<u>0.18</u>	<u>0.02</u>	10.6	<u>0.176</u>	<u>3.0</u>
		1.27	0.14		1.24	21.15
0–100	–	<u>1.66</u>	<u>0.13</u>	23.3	<u>0.438</u>	<u>2.4</u>
		18.12	1.42		4.99	31.31

* В знаменателе приведено содержание, кг м⁻²; “–” – значение не определено.

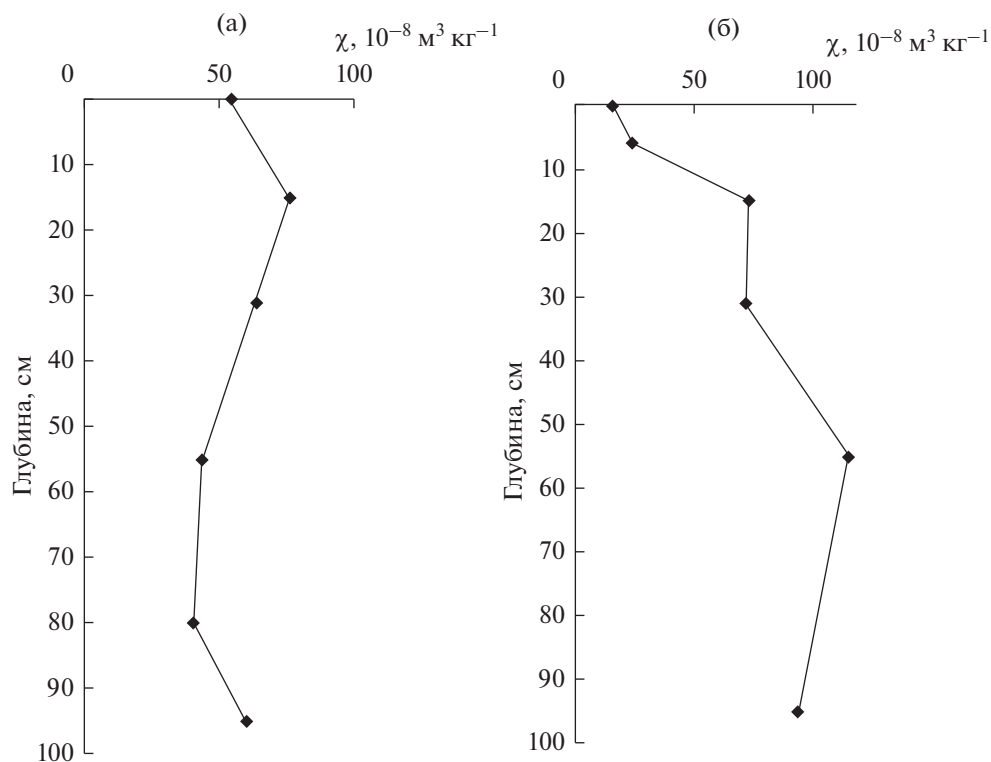


Рис. 3. Магнитные профили исследуемых мерзлотных почв: а – лугово-черноземной, б – перегнойно-карбонатной.

данной почве составили соответственно 29, 20 и 137 г м⁻² год⁻¹, а выщелачивания подвижных карбонатов (в пересчете на CaCO₃) – 3 кг м⁻² год⁻¹. Незначительное накопление легкорастворимых солей в сумме 1.33 кг м⁻² на фоне общего выноса подвижных карбонатов в перегнойно-карбонатной почве по нашему мнению связано с увеличением растворяющей способности данной почвы по сравнению с целинной лугово-черноземной в результате смены водного режима и увеличения ее влажности.

Магнитная восприимчивость является универсальным показателем, отражающим почвенно-генетические и почвенно-экологические особенности конкретных типов почв (Бабанин и др., 1995; Воляницкий, Шоба, 2015). В горизонтах AUca, AVca разреза 2 (рис. 3, А) и гор. AJ, AVca разреза 1 (рис. 3б) изучаемых почв значения УМВ в целом сопоставимы и соответственно равны 76.3 и 73.4, а также 63.9 и 71.7 м³ кг⁻¹. А в верхних органогенных гор. О и ОН разреза 1 значения УМВ закономерно снижаются до 14.8 и 23.0 м³ кг⁻¹. Это указывает на то, что здесь формируется новая относительно “молодая” лесная почва и в целом в почвенном профиле данного разреза идет перестройка магнитного органо-минерального каркаса целинной почвы разреза 2 и прежде всего за счет уменьшения почти в 3 раза содержания подвижных карбонатов CaCO₃ и MgCO₃. Известно,

что кальцит является диамагнетиком с отрицательным значением УМВ, равным $-0.38 \times 10^{-6} \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$ (Бабанин и др., 1995, с. 53). Следовательно, при увеличении содержания CaCO₃ в почве, значение ее УМВ снижается, и, наоборот, при снижении такого величина УМВ возрастает. Поэтому в гор. ВСа, ВС и Сса почвы разреза 1 по сравнению с аналогичными почвы разреза 2 значения УМВ увеличиваются в среднем в 2 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате смены лугово-степной растительности на лесную под еловыми насаждениями 45-летнего возраста на мерзлотной лугово-черноземной почве, со следующим строением профиля: Wca–AUca–AVca–BCa–VCSa–Cca в условиях криоаридного климата Центральной Якутии, произошло кардинальное изменение свойств и состава данной почвы и формирование нового типа мерзлотной перегнойно-карбонатной почвы со следующим морфологическим строением: О–ОН–AJ–AVca–BCa–BC–Cca и меньшей глубиной сезонного протаивания. В гор. AJ и AV перегнойно-карбонатной почвы значения рН_{H₂O} понизились соответственно на 1.0 и 0.7 от первоначальных. В почвенной толще (0–100 см) вторичной лесной почвы по сравнению с целинной лугово-степной в целом увеличилось общее количество обменных оснований Ca⁺² и Mg⁺² в 1.2 раза, сум-

ма солей — в 1.5 раза, содержание общего N и органического C — в 3.2 и 1.7 раза соответственно, но при этом уменьшилось количество подвижных карбонатов в 2.9 раза. Средние скорости накопления растворимых солей, общего азота и органического углерода в данной почве составили соответственно 29, 20 и 137 г м⁻² год⁻¹, а выщелачивания CaCO₃ — 3 кг м⁻² год⁻¹. Существенно изменились также и магнитные свойства исследуемых почв, то есть значения объемной и магнитной восприимчивости, а также строение их магнитных профилей. При этом во вновь сформированных органо-генных гор. О и ОН перегнойно-карбонатной почвы средние значения УМВ понизились почти в 3 раза, а в нижних минеральных ВСА, ВС и Сса повысились в 2 раза по сравнению с целинной лугово-черноземной почвой, вследствие выщелачивания подвижных карбонатов из состава данных горизонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анциферова О.А.* Влияние словых насаждений на свойства буроземов Калининградской области // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2010. Вып. 7. С. 111–116.
- Ариушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
- Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В.* Магнетизм почв. Ярославль: Ярославский гос. тех. университет, 1995. 223 с.
- Беляев А.Б.* Многолетняя динамика свойств черноземов выщелоченных под разными лесонасаждениями // Почвоведение. 2007. № 8. С. 917–926.
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: “Высшая школа”, 1973. 399 с.
- Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В., Метелева М.К.* Трансформация органического вещества подстилки в лесных культурах // Лесоведение. 2018. № 1. С. 24–36.
- Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А.* Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения тяжелыми металлами городских почв (обзор литературы) // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2015. № 1. С. 13–20.
- Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во Московского университета, 1989. 272 с.
- Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении. М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2009. 328 с.
- Егунова М.Н., Бескоровайна И.Н.* Особенности формирования мезофауны в 40-летних культурах на старопашотной серой почве // Вестник КрасГАУ. 2015. № 6. С. 3–9.
- Еловская Л.Г.* Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: Изд-во Якутского филиала СО АН СССР, 1987. 172 с.
- Зонн С.В.* Влияние леса на почву. М.: Наука, 1954. 189 с.
- Исаев А.П.* Естественная и антропогенная динамика листовничных лесов криолитозоны (на примере Якутии): Автореф. дис. д-ра. биол. наук (экология — 03.02.08). Якутск: Изд-во “СМИК-МАСТЕР”, 2011. 51 с.
- Карпачевский Л.О.* Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 262 с.
- Карпачевский Л.О.* Структура почвенного покрова и разнообразие лесных фитоценозов // Почвоведение. 1996. № 6. С. 722–727.
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Ташнинова Л.Н., Руденко Р.Н.* Почвенный покров и парцеллярная структура лесного биогеоценоза // Лесоведение. 2007. № 6. С. 107–113.
- Качинский Н.А.* Механический и микроагрегатный состав почвы и методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 190 с.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Конспект флоры Якутии: Сосудистые растения / Сост. Л.В. Кузнецова, В.И. Захарова. Новосибирск: Наука, 2012. 272 с.
- Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н.* Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал “Гео”, 2002. 707 с.
- Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г.* Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва–растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45–56.
- Макарычев С.В., Лебедева Л.В.* Формирование гидротермического режима почвы под древесными породами в условиях дендрария // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 5(139). С. 44–49.
- Макарычев С.В., Лебедева Л.В.* Физические и физико-химические свойства почв разного генезиса (на примере дендрария им. М.А. Лисавенко) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 8(154). С. 58–62.
- Мошкина Е.В.* Содержание свободных аминокислот в почвах хвойных лесов Карелии // Лесной вестник. 2008. № 4. С. 17–21.
- Петрова А.Е.* Интродукция деревьев и кустарников в ботаническом саду // Интродукционные исследования растений в Якутии: Сб. научн. трудов. Якутск: Изд-во Якутского филиала СО АН СССР, 1987. С. 32–46.
- Поздняков Л.К.* Даурская лиственница. М.: Наука, 1975. 298 с.
- Практикум по почвоведению / Под ред. Кауричева И.С. М.: Колос, 1980. 272 с.
- Солодовников А.Н., Рожков В.А.* Исследование влияния древесной породы на почву методом дискриминантного анализа // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 96. С. 22–46.
- Роде А.А.* Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
- Розанов Б.Г.* Морфология почв. М.: Изд-во Московского университета, 1983. 320 с.
- Усков М.Н.* Минеральный состав и геохимические особенности четвертичных отложений Центральной Якутии. Якутск: Изд-во Якутского филиала СО АН СССР, 1985. 108 с.
- Уткин А.И.* Леса Республики Саха (Якутия) — феномен таежного пояса Северной Евразии // Хвойные бореальные зоны. 2006. Т. 23. № 3. С. 7–14.
- Чевычелов А.П., Скрыбыкина В.П., Васильева Т.И.* Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.

- Чугунов Б.В. Леса Якутии и возможность их отражения в Якутском ботаническом саду // Интродукция растений в Центральной Якутии. Отв. ред. Аворин Н.А., М.; Л.: Наука, 1965. С. 45–76.
- Чугунова З.Е. Ассортимент деревьев и кустарников для озеленения населенных пунктов Якутии // Интродукция растений в Центральной Якутии. Отв. ред. Аворин Н.А., М.; Л.: Наука, 1965. С. 5–18.
- Щербаков И.П. Лесной покров Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1975. 344 с.
- Bargali K., Manral V., Padalia K., Bargali S.S., Upadhyay V.P. Effect of vegetation type and season on microbial biomass carbon in Central Himalayan forest soils, India // Catena. 2018. V. 171. P. 125–135.
- Binkley D., Giardina C. Why do trees species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions // Biogeochemistry. 1998. № 42. P. 89–106.
- Chang X., Jin H., Yu S., He R., Luo D., Lu L., Sun H., Sun G. Influence of vegetation on frozen ground temperatures the forested area in the Da Xing' Anling Mountains, Northeastern China // Shengtai Xuebao. 2011. V. 31. № 18. P. 5138–5147.
- Ganuza A., Almendros G. Organic carbon storage in soils of the Basque country (Spain): the effect of climate, vegetation type and edaphic variables // Biology and Fertility of Soils. 2003. V. 37. № 3. P. 154–162.
- Kourtev P.S., Shrenfeld J.G., Huang W.Z. Effect of exotic plant species on soil properties in hardwood forest of New Jersey // Water, Air & Soil Pollution. 1998. V. 105. № 1–2. P. 493–501.
- Lukina N.V., Orlova M.A., Tikhonova E.V., Tebenkova D.N., Kasakova A.T., Gornov A.V., Smirnov V.E., Knyazeva S.V., Bakhmet O.N., Kryshen A.M., Shashkov M.P., Ershov V.V. The influence of vegetation on the forest soil properties in the republic of Karelia // Eurasian Soil Science. 2019. V. 52. № 7. P. 793–807.
- Phillips D.H., Firtz Patrick E.A. Biological influence on the morphology and micromorphology of selected podzols (spodosols) and cambisols (inceptisols) from the Eastern United States and North-East Scotland // Geoderma. 1999. V. 90. № 3–4. P. 327–364.
- Raich Ja.W., Tufekciogul A. Vegetation and soil respiration: correlations and controls // Biogeochemistry. 2000. V. 48. № 1. P. 71–90.
- Rech P.B., Oleksyn J., Modrzynski J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D.M., Chorover J., Oliver A.C., Cynthia M.H., Tjoelker M.G. Linking litter calcium, earthworms, and soil properties: a common garden test with 14 temperate tree species // Ecology Letters. V. 8. № 8. 2005. P. 811–818.
- Wu H.H., Xu X.K., Duan C.T., Li T.S., Cheng W.G. Effect of vegetation type, wetting intensity, and nitrogen supply on external carbon stimulated heterotrophic respiration and microbial biomass carbon in forest soils // Science China Earth Sciences. 2015. V. 58. № 8. P. 1446–1456.

Changes in Characteristics of Cryogenic Meadow-Chernozem Soils of Central Yakutia under the Influence of Spruce Cultures

A. P. Chevychelov¹, L. P. Gabysheva¹, A. P. Isaev¹, T. S. Korobkova¹, and A. A. Alekseyev^{1, *}

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone Siberian Branch of RAS, Lenina ave., 41, Yakutsk, 677980 Russia

*E-mail: chev.soil@list.ru

A study has been conducted regarding the impact the spruce stands (*Picea obovata* Ledeb.) have on changes in the morphological characteristics, composition and properties of dryogenic meadow-chernozem soil in Central Yakutia, formed in a cryoarid climate, under meadow-steppe vegetation, in the vicinity of Yakutsk city. It was shown that over a 45-year period of exposure, the initial morphological profile of the primary soil, which had the form: Wca–AUca–ABca–BCa–BCca–Cca, has been transformed into the profile of a forest humus-calcareous soil characterized by the following structure: O–OH–AJ–ABca–BCa–BC–Cca. It was noted that a change in the morphological structure of a natural soil has occurred through the formation of horizons of forest litter O and litter-humus OH, as well as a decrease in the thickness of the seasonally thawing layer from 123 to 102 cm and a decrease in the depth of 10% HCl effervescence to 26 cm from the surface identifying the presence of mobile carbonates CaCO₃ and MgCO₃ in the soil. It was also revealed that, in addition to morphology, the composition and properties of humus-calcareous soil changed significantly compared to those of meadow-chernozem soil. So, in the AJ and ABca layers of this soil, the pH values of the water extract decreased by 1.0–0.7, respectively. In the layers of 0–100 cm of the forest soil, as compared to the meadow-steppe, the total amount of exchangeable bases of Ca⁺² and Mg⁺² has increased by 1.2 times, the amount of salts by 1.5 times, the content of total N and organic C by 3.2. and 1.7 times respectively, but the amount of mobile carbonates has decreased by 2.9 times. In addition, there have been changes in the structure of the magnetic and salt profiles of the studied soils, their degree and chemistry of salinization, as well as the type of water regime from cryogenic-exudative to cryogenic periodically-percolative in connection depending on the change of vegetation growing on these soils.

Keywords: cryolithozone, spruce stands, cryogenic soils properties and composition transformation.

Acknowledgements: The paper has been produced within the framework of the State Contract from the Ministry of Science and Education of the Russian Federation (theme No. 0297-2021-0027, reg. No. AAAA-A21-121012190033-5).

REFERENCES

- Antsiferova O.A., Vliyanie elovykh nasazhdenii na svoystva burozemov Kaliningradskoi oblasti (The impact of spruce plantations on burozem in the Kaliningrad region), *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*, 2010, Vol. 7, pp. 111–116.
- Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Handbook on chemical analysis of soils), Moscow: Izd-vo MGU, 1970, 487 p.
- Babanin V.F., Trukhin V.I., Karpachevskii L.O., Ivanov A.V., Morozov V.V., *Magnetizm pochv* (Soil magnetism), Yaroslavl: Yaroslavskii gos. tekhn. universitet, 1995, 223 p.
- Bargali K., Manral V., Padalia K., Bargali S.S., Upadhyay V.P., Effect of vegetation type and season on microbial biomass carbon in Central Himalayan forest soils, India, *Catena*, 2018, Vol. 171, pp. 125–135.
- Belyaev A.B., Mnogoletnyaya dinamika svoystv chernozemov vyshchelochennykh pod raznymi lesonasazhdeniyami (Long-term dynamics of the properties of leached chernozems under different forest plantations), *Pochvovedenie*, 2007, No. 8, pp. 917–926.
- Binkley D., Giardina C., Why do trees species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions, *Biogeochemistry*, 1998, No. 42, pp. 89–106.
- Chang X., Jin H., Yu S., He R., Luo D., Lu L., Sun H., Sun G., Influence of vegetation on frozen ground temperatures the forested area in the Da Xing' Anling Mountains, Northeastern China, *Shengtai Xuebao*, 2011, Vol. 31, No. 18, pp. 5138–5147.
- Chevychelov A.P., Skrybykina V.P., Vasil'eva T.I., Geographic and genetic specificity of permafrost-affected soils in Central Yakutia, *Eurasian Soil Science*, 2009, Vol. 42, No. 6, pp. 600–608.
- Chugunov B.V., Lesa Yakutii i vozmozhnost' ikh otrazheniya v Yakutskom botanicheskom sadu (Forests of Yakutia and the possibility of their reflection in the Yakutsk Botanical Garden), In: *Introduktsiya rastenii v Tsentral'noi Yakutii (Plants Introduction in Central Yakutia)* Moscow, Leningrad: Nauka, 1965, pp. 45–76.
- Chugunova Z.E., Assortiment derev'ev i kustarnikov dlya ozeleneniya naselennykh punktov Yakutii (Assortment of trees and shrubs for landscaping settlements in Yakutia), In: *Introduktsiya rastenii v Tsentral'noi Yakutii (Plants introduction in Central Yakutia)*, Moscow, Leningrad: Nauka, 1965, pp. 5–18.
- Dmitriev E.A., *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* (Mathematical statistics in soil science), Moscow: Knizhnyi dom "LIBROKOM", 2009, 328 p.
- Egunova M.N., Beskorovainaya I.N., Osobennosti formirovaniya mezofauny v 40-letnikh kul'turakh na staropakhotnoi seroi pochve (The peculiarities of mesofauna formation in 40-year-old forest cultures on the old-arable grey soil), *Vestnik KrasGAU*, 2015, No. 6, pp. 3–9.
- Elovskaya L.G., *Klassifikatsiya i diagnostika merzlotnykh pochv Yakutii* (Classification and diagnostics of permafrost soils in Yakutia), Yakutsk: Izd-vo Yakutskogo filiala SO AN SSSR, 1987, 172 p.
- Ganuzha A., Almendros G., Organic carbon storage in soils of the Basque country (Spain): the effect of climate, vegetation type and edaphic variables, *Biology and Fertility of Soils*, 2003, Vol. 37, No. 3, pp. 154–162.
- Isaev A.P., *Estestvennaya i antropogennaya dinamika listvennichnykh lesov kriolitozony (na primere Yakutii)*. Avtoref. diss. *d-ra. biol. nauk* (Natural and anthropogenic dynamics of larch forests in the permafrost zone (on the example of Yakutia). Extended abstract of Doctor's biol. sci. thesis), Yakutsk: Izd-vo "SMIK-MASTER", 2011, 51 p.
- Kachinskii N.A., *Mekhanicheskii i mikroagregatnyi sostav pochvy i metody ego izucheniya* (Mechanical and micro-aggregate composition of the soil and methods of its study), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1958, 190 p.
- Karpachevskii L.O., *Les i lesnye pochvy* (Forest and forest soils), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1981, 261 p.
- Karpachevskii L.O., Struktura pochvennogo pokrova i raznoobrazie lesnykh fitotsenozov (The soil cover structure and diversity of forest phytocoenoses), *Pochvovedenie*, 1996, No. 6, pp. 722–727.
- Karpachevskii L.O., Zubkova T.A., Tashninova L.N., Rudenko R.N., Pochvennyi pokrov i partsellyarnaya struktura lesnogo biogeotsenoza (The soil cover and parcel structure of a forest biogeocenosis), *Lesovedenie*, 2007, No. 6, pp. 107–113.
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and recognition of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
- Konspekt flory Yakutii: Sosudistye rasteniya* (Yakutia flora conspectus: Vascular plants), Novosibirsk: Nauka, 2012, 272 p.
- Koropachinskii I.Y., Vstovskaya T.N., *Drevesnye rasteniya Aziatskoi Rossii* (Woody plants of Asian Russia), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002, 707 p.
- Kourtev P.S., Shrenfeld J.G., Huang W.Z., Effect of exotic plant species on soil properties in hardwood forest of New Jersey, *Water, Air & Soil Pollution*, 1998, Vol. 105, No. 1–2, pp. 493–501.
- Lukina N.V., Orlova M.A., Isaeva L.G., Forest soil fertility: the base of relationships between soil and vegetation, *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, Vol. 4, No. 7, pp. 725–733.
- Lukina N.V., Orlova M.A., Tikhonova E.V., Tebenkova D.N., Kasakova A.T., Gornov A.V., Smirnov V.E., Knyazeva S.V., Bakhmet O.N., Kryshen A.M., Shashkov M.P., Ershov V.V., The influence of vegetation on the forest soil properties in the republic of Karelia, *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 52, No. 7, pp. 793–807.
- Makarychev S.V., Lebedeva L.V., Formirovanie gidrotermicheskogo rezhima pochvy pod drevesnymi porodami v usloviyakh dendrariya (The formation of soil hydrothermal regime under tree species under the arboretum conditions), *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 5 (139), pp. 44–49.
- Makarychev S.V., Lebedeva L.V., Formirovanie gidrotermicheskogo rezhima pochvy pod drevesnymi porodami v usloviyakh dendrariya (The formation of soil hydrothermal regime under tree species under the arboretum conditions), *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 5 (139), pp. 44–49.
- Moshkina E.V., Soderzhanie svobodnykh aminokislot v pochvakh khvoinykh lesov Karelii (The contents of free amino acid in ground coniferous wood Karelya), *Lesnoi vestnik*, 2008, No. 4, pp. 17–21.
- Petrova A.E., Introduktsiya derev'ev i kustarnikov v botanicheskom sadu (The introduction of trees and shrubs in the

- botanical garden), In: *Introduktsionnye issledovaniya rastenii v Yakutii* (Plants introduction research in Yakutia), Yakutsk: Izd-vo Yakutskogo filiala SO AN SSSR, 1987, pp. 32–46.
- Phillips D.H., Firtz Patrick E.A., Biological influence on the morphology and micromorphology of selected podzols (spodosols) and cambisols (inceptisols) from the Eastern United States and North-East Scotland, *Geoderma*, 1999, Vol. 90, No. 3-4, pp. 327–364.
- Pozdnyakov L.K., *Dauruskaya listvennitsa* (Dahurian larch), Moscow: Nauka, 1975, 310 p.
- Praktikum po pochvovedeniyu*, (Laboratory course of soil science), Moscow: Kolos, 1980, 272 p.
- Raich Ja.W., Tufekciogul A., Vegetation and soil respiration: correlations and controls, *Biogeochemistry*, 2000, Vol. 48, No. 1, pp. 71–90.
- Rech P.B., Oleksyn J., Modrzynski J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D.M., Chorover J., Oliver A.C., Cynthia M.H., Tjoelker M.G., Linking litter calcium, earthworms, and soil properties: a common garden test with 14 temperate tree species, *Ecology Letters*, 2005, Vol. 8, No. 8, pp. 811–818.
- Rode A.A., *Sistema metodov issledovaniya v pochvovedenii* (System of research methods in soil science), Novosibirsk: Nauka, 1971, 92 p.
- Rozaov B.G., *Morfologiya pochv* (Soils morphology), Moscow: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1983, 320 p.
- Shcherbakov I.P., *Lesnoi pokrov severo-vostoka SSSR* (Forest cover of North-East of USSR), Novosibirsk: Nauka, 1975, 343 p.
- Solodovnikov A.N., Rozhkov V.A., Issledovanie vliyaniya drevesnoi porody na pochvu metodom diskriminatnogo analiza (Study of the tree species effect on the soil by means of discriminant analysis), *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2019, Vol. 96, pp. 22–46.
- Uskov M.N., *Mineral'nyi sostav i geokhimicheskie osobennosti chetvertichnykh otlozhenii Tsentral'noi Yakutii* (Mineral composition and geochemical features of Quaternary deposits of Central Yakutia), Yakutsk: Izd-vo Yakutskogo filiala SO AN SSSR, 1985, 108 p.
- Utkin A.I., Lesa Respubliki Sakha (Yakutiya) – fenomen taezhnogo poyasa Severnoi Evrazii (Forests of the Republic of Sakha (Yakutia) – a phenomenon of the taiga belt of Northern Eurasia), *Khvoynye boreal'nye zony*, 2006, Vol. 23, No. 3, pp. 7–14.
- Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov* (Methods of studying the physical properties of soils), Moscow: Vysshaya shkola, 1973, 315 p.
- Vedrova E.F., Mukhortova L.V., Meteleva M.K., Transformatsiya organicheskogo veshchestva podstilki v lesnykh kul'turakh (Transformation of organic matter of litter in forest plantations), *Lesovedenie*, 2018, pp. 24–36.
- Vodyanitsky Y.N., Shoba S.A., Magnetic susceptibility as an indicator of heavy metal contamination of urban soils, *Moscow University Soil Science Bulletin*, 2015, Vol. 70, No. 1, pp. 10–16.
- Vorob'eva L.A., *Khimicheskii analiz pochv* (Chemical analysis of soils), Moscow: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1989, 272 p.
- Wu H.H., Xu X.K., Duan C.T., Li T.S., Cheng W.G., Effect of vegetation type, wetting intensity, and nitrogen supply on external carbon stimulated heterotrophic respiration and microbial biomass carbon in forest soils, *Science China Earth Sciences*, 2015, Vol. 58, No. 8, pp. 1446–1456.
- Zonn S.V., *Vliyanie lesa na pochvu* (The forest influence on soil), Moscow: Nauka, 1954, 189 p.