

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»

ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Холопов Юрий Владимирович

**Реологические свойства таежных автоморфных и
полугидроморфных почв Республики Коми**

Специальность 06.01.03 – «Агрофизика»
Специальность 03.02.13 – «Почвоведение»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель
доцент, кандидат биологических наук

Е.М. Лаптева

Сыктывкар – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1 Реологический метод исследований физико-механических свойств дисперсных систем	10
1.2 Реологические исследования в почвоведении	13
1.3 Состояние и перспективы изучения реологических свойств почв Республики Коми	16
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	19
2.1 Объекты исследований	19
2.2 Методы исследований	27
ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ	31
3.1 Климатические условия	31
3.2 Растительность	33
3.3 Геологическое строение, геоморфология, рельеф	35
3.4 Почвообразующие породы	38
3.5 Почвенный покров	40
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	45
4.1 Физико-химические свойства таежных автоморфных и полугидроморфных почв	45
4.1.1 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв южной тайги	45
4.1.2 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв средней тайги	55
4.1.3 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв северной тайги	64
4.1.4 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и	

полугидроморфных почв крайнесеверной тайги	77
4.1.5 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв лесотундры	84
4.2 Реологическое поведение таежных автоморфных и полугидроморфных почв	94
4.2.1 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв южной тайги	94
4.2.2 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв средней тайги	98
4.2.3 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв северной тайги	101
4.2.4 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв крайнесеверной тайги	107
4.2.5 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв лесотундры	110
4.3 Подзональные особенности реологических свойств таежных почв	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
ВЫВОДЫ	127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	129
ПРИЛОЖЕНИЕ	147
Приложение А. Краткая характеристика морфологического строения почв ключевых участков	148
Приложение Б. Результаты гранулометрического анализа почв ключевых участков	162
Приложение В. Физико-химические показатели почв ключевых участков	169
Приложение Г. Результаты реологических исследований почв ключевых участков	178

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Структурную организацию почв условно разделяют на несколько уровней: атомарный, молекулярно-ионный, уровень элементарных почвенных частиц, агрегатный, горизонтный, профильный и уровень почвенного покрова (Розанов, 2004). Каждый уровень требует специальных подходов и методов исследований для наиболее полного и адекватного познания почвы как самобытного природного тела. Реологические исследования почв являются одним из направлений изучения их структурно-механических характеристик. Под структурно-механическими свойствами почв подразумевают совокупность двух характеристик: структуры, то есть характера межчастичных почвенных связей, и механических свойств (упругость, вязкость, пластичность) (Абрукова, 1970а, 1970б). Реологические исследования почв позволяют количественно и качественно оценить характер межчастичного взаимодействия почв, а также дать прогноз устойчивости почвенной структуры к различным механическим воздействиям естественного и техногенного происхождения (Mezger, 2011; Шеин и др., 2014б; Хайдапова и др., 2016). Совершенствование приборной и методической базы открывает новые возможности для характеристики реологических свойств почв и получения большого количества реологических параметров (Horn, Smucker, 2005; Markgraf et al., 2006, 2010; Шеин и др., 2014; Pertile et al., 2016).

Следует отметить, что таежные почвы Республики Коми являются достаточно интересным объектом для изучения их реологических характеристик, так как они формируются в условиях повышенного увлажнения и длительного промерзания с проявлением разнообразных деформационных процессов – тиксотропии, плавунности, солифлюкции, морозобойного растрескивания и пучения и др. Интенсификация хозяйственной деятельности человека в северных регионах (строительство дорог, трубопроводов, добыча полезных ископаемых и др.), в том числе в

Республике Коми, крайне негативно отражается на состоянии почвенного покрова. Это касается, в первую очередь, повсеместного механического нарушения почв, обуславливающего развитие в последующем различных эрозионных процессов, уплотнения, усадки почв и прочее. Прогнозные данные предполагают значительное увеличение количества осадков в северном полушарии, а также общепланетарных среднегодовых температур на 4–7 °С к концу XXI века (Jones et al., 1999; Глобальные..., 2000; Переведенцев и др., 2001; МГЭИК: Изменение климата..., 2007). Очевидно, что с увеличением влажности климата будут меняться и условия увлажнения почв, и, как следствие, их физико-химические и механические свойства. В тоже время реологические исследования почв на этой обширной территории ограничены единичными работами, относящимися к 70-х гг. прошлого столетия. В этот период Л.П. Аbruковой (Аbruкова, 1970б; Аbruкова, Манучаров, 1986) были получены первые данные по характеристике процессов тиксотропии на основе изучения реологических свойств тундровых почв Республики Коми. Исследование физико-механических свойств таежных почв с помощью реологического подхода позволит не только оценить их структурное состояние и устойчивость в условиях изменяющегося климата и возрастающего техногенного давления, но и более четко охарактеризовать специфические особенности таежных почв и выявить их дополнительные диагностические показатели на основе характеристики физических параметров.

Степень разработанности темы исследований

В настоящее время по запросу в российской электронной базе ELIBRARY.RU можно найти до 125 научных публикаций по ключевым словам: реология почв, реологические свойства почв. Международная база Web of Science по тем же ключевым словам выдает до 200 научных публикаций. Анализ зарубежной и отечественной литературы (Horn, Smucker, 2005; Алексеев, Калугин, 2009; Markgraf et al., 2010, 2012; Шеин и др., 2014; Pertile et al., 2016; Хайдапова и др., 2015, 2016; Stoppe, Horn, 2018)

свидетельствует об активизации на современном этапе исследований в области почвенной реологии. На территории Республики Коми изучение почв было направлено в первую очередь на установление закономерностей образования, функционирования и продуктивности различных типов почв (Забоева, 1975; Русанова, 1987; Структурно-функциональная..., 2001; Канев, 2002; Тонконогов и др., 2006; Атлас почв..., 2010), выявление специфики формирования в них различных компонентов почвенного органического вещества (Лодыгин и др., 2007, 2014; Габов и др., 2007, 2008; Шамрикова и др., 2012, 2013), кислотно-основных свойств (Шамрикова, 2013, 2018), аккумуляции в почвах органического углерода (Дымов и др., 2013б; Пастухов, Каверин, 2013). Структурно-механические свойства почв, процессы почвенного структурообразования, качества и свойств межчастичных и межагрегатных связей внутри почв оставались до настоящего времени практически не изученными.

Цель работы – выявление закономерностей изменения реологических свойств и параметров в зональном ряду почв Республики Коми, формирующихся под таежной растительностью, во взаимосвязи с их физико-химическими свойствами и степенью гидроморфизма.

Задачи исследования:

1. Изучить реологические свойства текстурно-дифференцированных (дерново-подзолистые, подзолистые с микропрофилем подзола) и криометаморфических (светлоземы иллювиально-железистые) почв таежной зоны РК, а также их полугидроморфных разностей методом амплитудной развертки на модульном реометре MCR-302 «Anton Paar»;

2. Выявить физико-химические свойства автоморфных и полугидроморфных таежных почв, определяющие их структурно-механические характеристики;

3. Оценить влияние условий увлажнения на реологические свойства таежных почв;

4. Выявить подзональные особенности в реологическом поведении автоморфных и полугидроморфных таежных почв.

Защищаемые положения:

1. Реологические свойства и параметры таежных почв, связанные с климатическими и гидрологическими условиями их формирования, наиболее четко проявляются в верхних горизонтах профиля, в нижней части профиля реологические свойства обусловлены в основном физико-химическими и литологическими характеристиками почвообразующей породы.

2. Структурная устойчивость таежных суглинистых почв к механическим нагрузкам зависит от содержания почвенного органического вещества, органо-минеральных альфегумусовых соединений, а также условий промерзания-оттаивания почв.

3. В зональном ряду почв (от текстурно-дифференцированных почв южной тайги к криометаморфическим почвам северной, крайнесеверной тайги и лесотундры) наблюдается снижение их устойчивости к механическим нагрузкам вследствие усиления прочных, но более хрупких межчастичных взаимодействий.

4. Усиление гидроморфизма таежных почв способствует возрастанию их пластичности и снижению прочности почвенных контактов.

Научная новизна работы

Впервые с помощью современного метода амплитудной развертки (колебательный метод) определены на цифровом модульном реометре MCR-302 «Anton Paar» реологические свойства различных типов и подтипов таежных почв, развитых на суглинистых почвообразующих породах и занимающих автоморфные и полугидроморфные позиции в зональном ряду от южной тайги до лесотундры. Выявлено влияние условий увлажнения на реологические свойства текстурно-дифференцированных (дерново-подзолистые, подзолистые с микропрофилем подзола) и криометаморфических (светлоземы иллювиально-железистые) почв. Оценено влияние биоклиматических подзональных условий на реологическое

поведение таежных автоморфных и полугидроморфных почв. Полученные в результате реологического анализа структурно-механические параметры таежных текстурно-дифференцированных и криометаморфических почв дают дополнительные диагностические характеристики при выявлении их генетических особенностей.

Практическая значимость работы

Полученные в диссертационной работе результаты реологических исследований могут быть применены при нормировании механической нагрузки на почвенный покров в сельскохозяйственном, лесохозяйственном, промышленном, рекреационном и ином использовании почвенных ресурсов. Эти данные могут быть полезны при создании искусственных почвенных покрытий. Используемый в исследовании метод амплитудной развертки может быть рекомендован как быстрый, надежный и точный способ диагностики технологических свойств почв.

Апробация работы

Основные положения и результаты исследования были изложены и обсуждены на молодежной научной конференции ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, 2012–2017), Пущинской школе-конференции молодых ученых “Биология - наука 21 века” (Пущино, 2012, 2015), Докучаевских молодежных чтениях (Санкт-Петербург, 2013), II международной научной конференции по реологии и моделированию материалов "IC-RMM2" (Мишкольц-Лиллафюред, Венгрия, 2015), на съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Белгород, 2016), Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 2018), VIII Всероссийской научной конференции с международным участием «Лесные почвы и функционирование лесных экосистем» (2019), на заседании кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ (2012).

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 146 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, списка литературы из 165 источников, в том числе 20 на иностранном языке, содержит 12 таблиц, 45 рисунков и 4 приложения.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю Елене Морисовне Лаптевой за поддержку, доброжелательное отношение и помощь при подготовке диссертации и обсуждении результатов. Автор искренне благодарен своему учителю Ие Васильевне Забоевой за вдохновляющие идеи и мудрые советы на всех этапах работы. Отдельную благодарность автор выражает доценту кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, к.б.н. Долгор Доржиевне Хайдаповой за всестороннюю поддержку и содействие, полезные рекомендации в выполнении реологических исследований, а также коллегам и друзьям за помощь на разных этапах работы.

ГЛАВА 1 РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Реологический метод исследований физико-механических свойств дисперсных систем

Термин «реология» ввёл в начале 20-го века американский учёный, химик Юджин Бингам, который занимался изучением деформационных явлений жидкостей. В переводе с греческого языка реология (*rhéos* – течение, поток, и *logos* – знание) означает – учение о деформациях и текучести материалов (Рейнер, 1965). Как отдельная наука она оформилась в середине 20-го века благодаря работам П.А. Ребиндера и его последователей (Ребиндер, 1958, 1966; Рейнер, 1965; Горькова, 1966; Круглицкий, 1968; Фукс и др., 1973). В настоящее время реологический подход широко применяется и хорошо освещен в работах многих исследователей (Абрукова, 1977; Вялов, 1978; Цытович, 1979; Библик, 1981; Щукин и др., 1982; Mathieu, Pieltain, 1998; Ghezzehei, Or, 2001; Шпрамм, 2003; Markgraf et al., 2006; Markgraf, Horn, 2006; Алексеев, Калугин, 2009; Хайдапова и др., 2015, 2016). Научные интересы реологии направлены на изучение и описание деформационных процессов различных материальных тел. Предметом исследования реологии является деформационное поведение материалов (вязкость, упругость, пластичность) – важнейшие проявления их физико-химических свойств. Фундаментальной основой всех реологических методов исследований служат простые механические модели: пружины, ползунки и поршни с известными деформационными характеристиками. Пружина служит моделью для описания идеально упругого тела Гука. Ползунок описывает модель сухого трения или модель идеально пластичного тела Сен-Венана – Кулона. Поршень в цилиндре с жидкостью символизирует идеально вязкое тело Ньютона. Комбинируя и соединяя их в различном порядке, можно моделировать более сложное реологическое поведение. Зависимость между вязкостью и скоростью деформации графически изображают в виде кривой

течения. Для классических ньютоновских жидкостей (например, вода) вязкость не зависит от скорости сдвига. В неньютоновских жидкостях (коллоидные растворы, суспензии), вследствие проявления пластической вязкости, механическое поведение может меняться в зависимости от длительности и интенсивности деформации, например, вязкость может резко падать при увеличении скорости деформации (пластичность), или наоборот увеличиваться (дилатантность). Физическая природа этих явлений связана с формой и характером структурных взаимодействий. Основоположник физико-химической механики П.А. Ребиндер (Ребиндер, 1966; Амелина, 1985; Щукин, 1985) выделял 3 типа дисперсных структур, в зависимости от сил, которыми образованы межчастичные структурные связи: коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные. В настоящее время предпочитают выделять два типа (Немцева и др., 2016):

1) *Конденсационно-кристаллизационные структуры* – характерны для связнодисперсных систем с твердой дисперсной средой. В данном типе дисперсной структуры частицы связаны химическими связями, действующими на малых расстояниях с образованием жесткой объемной структуры. Такой тип структуры придает системе высокую прочность, хрупкость и упругость, без способности к восстановлению после механического разрушения (Амелина, 1985);

2) *Коагуляционные структуры* – данный тип характерен для свободнодисперсных систем с жидкой дисперсной средой. Коагуляционное взаимодействие осуществляется за счет дальнедействующих сил Ван-дер-Ваальса (Ребиндер, 1958) и обусловлено процессами теплового броуновского столкновения коллоидных частиц, в результате которого образуются более крупные агрегаты. В коагуляционных структурах межчастичные контакты осуществляются через тонкие прослойки жидкой среды, что придает коагуляционному структурообразованию характерные механические свойства: невысокую прочность, ползучесть, пластичность, текучесть. Как правило, при увеличении напряжения сдвига резко снижается вязкость

системы. Если после прекращения воздействия структура постепенно восстанавливается, то ее называют тиксотропной. Тиксотропия зависит от количества частиц (чем больше количество частиц, тем выше вероятность их столкновения и восстановления структуры), а также от природы связей и степени сродства частиц (Урьев, 2002). Однако, возможно и обратное тиксотропии явление – реопексия, когда при механическом воздействии увеличение напряжения сдвига вызывает не снижение, а рост вязкости. Причина реопексии – параллельная ориентация вытянутых частиц при течении, что благоприятствует быстрому установлению между ними контактов и увеличению сопротивления движению.

Для определения реологических свойств материалов используют специальное оборудование – реометры или вискозиметры (если требуется измерение только вязкости). Ранее использовались механические реометры (Реотест-2) с пружинными механизмами, точность измерения на которых во многом зависела от опыта и сноровки исследователя (Горькова, 1975; Абрикова, 1980; Шрамм, 2003). Эти приборы могли дать представление о вязкостных характеристиках исследуемого материала, способности к тиксотропии и пливунности, а также типе структурных связей. В настоящее время реометры, оснащенные цифровым программным обеспечением, позволяют получать более широкий спектр параметров с высокой точностью – это напряжение сдвига, скорость сдвига, вязкость, пластичность, модуль упругости, точка перехода золь-гель, величина и скорость тиксотропного восстановления дисперсной структуры. В частности, модульный реометр MCR-302 «Anton Paar» рекомендован многими исследователями для выявления реологических свойств природных дисперсных объектов, в том числе почв (Horn, Smucker, 2005; Markgraf et al., 2006, 2010; Шеин и др., 2014б; Pertile et al., 2016; Хайдапова и др., 2016).

1.2 Реологические исследования в почвоведении

Первые исследования реологических свойств грунтов, связанные с изучением плавунности и тиксотропности глин, были проведены в начале 20-го века Альбертом Аттербергом, который сформулировал физико-механические константы – пределы Аттерберга (Абрукова, 1977). Эти константы фиксируют критические уровни влажности почв, по мере уменьшения которой почва будет переходить из вязкого текучего состояния в пластичное и затем в твердое хрупкое, распадающееся на отдельные при деформации. В дальнейшем эти константы были более точно обоснованы и привязаны к определенным моделям реологического поведения профессором А.Д. Ворониным (1984) с помощью функции зависимостей основной гидрофизической характеристики почв (ОГХ).

В России реологический подход в исследовании свойств почв стал активно использоваться в 70-80-х годах прошлого столетия. К этому времени реологические методы исследований дисперсных систем были достаточно хорошо апробированы в геологии, грунтоведении, коллоидной химии (Вялов, 1978; Цытович, 1979; Щукин и др., 1982; Амелина, 1985). Однако методы, применяющиеся в этих науках, не вполне отвечали целям почвоведения, так как были ориентированы преимущественно на исследование гомогенных субстратов. Почва же представляет собой сложную и многокомпонентную систему с различным минералогическим, химическим и гранулометрическим составом. Деформационное поведение в таких условиях имеет многофакторную природу формирования. Учитывая это, Л.П. Абрукова и А.С. Манучаров изучили инструментальные возможности исследования реологических свойств почв методом коаксиальных цилиндров на приборе Реотест-2 (Абрукова, 1976; Абрукова, 1980; Манучаров, Абрукова, 1982, 1990; Манучаров и др., 1990). В результате были получены интересные данные по реологическому поведению различных почв от черноземов до тундровых глеевых. По мнению Л.П. Абруковой (1970б), деформационное

поведение почв, его податливость к уплотнению, эрозии, вымыванию будет зависеть от типа структурных связей и их прочностных характеристик.

На основании своих исследований Л.П. Абрикова (Абрикова, 1972, 1976) рекомендовала принять классификацию реологического поведения почв по типу их структурообразования. Данная классификация ранее была предложена Г. И. Фуксом (1950) для коллоидных систем и являлась, по сути, связующим звеном между классификациями П.А. Ребиндера (1966) и И.М. Горьковой (1966). В основу этой классификации положены различия в реакционной способности и скорости дисперсной системы к самовосстановлению: с мгновенной способностью к структурообразованию (тиксостабильные системы), медленной (тиксотропные) и практически не способные к восстановлению после разрушения (тиксотлабильные). В последующем В.В. Абрикова (1988) предложила другую классификацию реологического поведения почв, более удобную в практическом применении, привязав ее к определенным морфологическим и физико-химическим особенностям почв.

Опыт применения реологического подхода в исследованиях Л.П. Абриковой и А.С. Манучарова был необходим, прежде всего, для решения ряда практических задач, связанных с негативным проявлением эрозионных и тиксотропных процессов при сельскохозяйственном освоении почв (Абрикова, 1977; Манучаров, 1983; Абрикова и др., 1986; Сапожников и др., 1987). Однако в дальнейшем реологические методы использовались и в исследованиях, имеющих экологическое и фундаментальное значение (Харитонов и др., 1992; Харитонов, Манучаров, 1993; Свечников, 2003; Шеин, 2005; Дармаева, Хайдапова, 2012; Золотаревская, 2013; Шеин и др., 2014б), в том числе связанных с изучением структурного состояния почв, природы, характера межчастичных взаимодействий, а также их изменений под влиянием внешних и внутренних факторов (Фукс и др., 1973; Горбунов, Абрикова, 1974; Манучаров и др., 1990).

В работах зарубежных исследователей реологический метод широко используется как в практических целях, так и для решения вопросов теоретической направленности (Dealy, 1982; Scherer, 1988; Silva, 1995; Mathieu, Pieltain, 1998; Ghezzehei, Or, 2001; Horn, Smucker, 2005; Markgraf, Horn, 2006; Markgraf et al., 2010, 2012; Baumgarten, 2013; Pertile et al., 2016). В частности, реологический подход применяется при изучении деградации почвенной структуры под влиянием сельскохозяйственного использования и строительства (Or, Ghezzehei, 2002; Stoppe, Horn, 2018). Исследуются вопросы изменения реологического поведения почв и грунтов в зависимости от содержания органического вещества, удобрений, глинистых минералов, почвенной влаги, в том числе для уточнения роли капиллярных и менисковых сил в межчастичном взаимодействии. Некоторые авторы используют реологические методы при создании разнообразных моделей межчастичного взаимодействия, а так же для прогноза деформационного поведения почв при механических нагрузках (Ghezzehei, Or, 2001).

В настоящее время с появлением реометров нового поколения количество и точность получаемых реологических параметров значительно увеличились, благодаря чему появилась возможность на более тонком уровне исследовать силы межчастичного взаимодействия, оценить вклад в эти взаимодействия органических и минеральных веществ, а также различных форм почвенной влаги. В этом аспекте интересные исследования с точки зрения энергии структурной организации почв проведены Д.Д. Хайдаповой и Е.В. Шеиным с соавторами (Шеин и др., 2015; Хайдапова и др., 2014, 2015, 2016). Авторы с использованием реологических методов исследовали микроструктурные параметры почв, такие как характер взаимодействия структурных элементов, оценили силы взаимосвязи и сцепления между частицами, структуру порового пространства. Они выявили взаимосвязь этих параметров с физико-химическими (ОГХ, минералогический и гранулометрический состав, содержание органических веществ) и

механическими свойствами почв (плотность, водоустойчивость, липкость, пластичность, сопротивление сдвигу и др.).

В то же время, для проверки выводов, полученных на основе экспериментальных исследований, а также построения различных моделей для прогнозных оценок необходимы данные по характеристике реологического поведения различных типов почв, формирующихся в естественных условиях. Однако, исследования такого плана в почвоведении пока единичны (Свечников, 2003; Дармаева, Хайдапова, 2012; Дымов и др., 2013а; Хайдапова и др., 2014).

1.3 Состояние и перспективы изучения реологических свойств почв Республики Коми

Начало изучению реологических свойств почв Республики Коми (РК) было положено Л.П. Аbruковой и В.В. Аbruковой (Аbruкова, 1977; Аbruкова, Манучаров, 1986). В 70-х годах XX века авторы совместно с сотрудниками Института биологии Коми НЦ РАН (в тот период Коми Филиала Академии наук) И.Б. Арчевой и И.В. Забоевой исследовали процессы тиксотропии в тундрово-глеевых почвах юго-восточной части Большеземельской тундры (окрестности г. Воркута). Были получены уникальные данные по структурному состоянию не только целинных тундровых почв, но и агрогенно преобразованных, включенных в режим сельскохозяйственного освоения в тундровой зоне РК.

По мнению Л.П. Аbruковой (1977), тиксотропность северных почв связана с их длительным переувлажнением в течение всего вегетационного периода, а также с особенностями почвенного органического вещества преимущественно фульватного типа, играющего здесь роль стабилизатора, а не коагулятора коллоидной части почв. При этом Л.П. Аbruкова отмечает, что при определенных условиях (часто при повышенной влажности) любые почвы могут проявить тикотропные свойства, однако, в тундровых почвах увеличение влажности приводит не к тиксотропным, а плавунно-

дилатантным явлениям. Тундровые почвы, формирующиеся на склонах увалов, начинают «течь» под весом собственной тяжести, образуя типичную бугристо-ступенчатую форму рельефа склона. Тиксотропные свойства почв начинают проявляться в результате преобладания коагуляционных структурных связей, возникающих при переувлажнении почв (Абрукова, 1977). При этом контакты между частицами почвы ослабляются присутствующими между ними пленками воды, способствующими значительному увеличению их подвижности друг относительно друга. При уменьшении влажности контакты переходят в более прочные конденсационные или конденсационно-кристаллизационные типы с полной потерей тиксотропных свойств. Подверженность почв тиксотропному структурообразованию зависит от их минералогического состава, дисперсности, гидрофильности органических и минеральных веществ, состава обменных оснований, содержания солей в растворе, его реакции, концентрации суспензии и др. При этом главное значение имеет соотношение между водой, дисперсностью и гидрофильностью (Абрукова, 1977; Шеин и др., 2014а; Честнова, 2017).

Наши исследования северотаежных торфянисто-подзолисто-глееватых почв, выполненные в 2012 году методом коаксиальных стаканчиков (Хайдапова и др., 2014; Kholopov et al., 2015; Холопов и др., 2016; Холопов и др., 2017; Khaydarova et al., 2018) стали продолжением работ, начатых Л.П. Абруковой (1977) при участии И.В. Забоевой. Полученные нами данные выявили преобладание в почвенной структуре торфянисто-подзолисто-глееватых почв слабых коагуляционных типов связей, малоустойчивых к механическим нагрузкам. Снижение устойчивости коагуляционных связей в исследуемых полугидроморфных почвах мы связываем с активным протеканием процессов оглеения, обусловленным более длительным периодом переувлажнения этих почв. Соединения трехвалентного железа, покрывающее в виде пленок поверхность почвенных частиц, в анаэробных условиях (при переувлажнении) переходят в

подвижную двухвалентную форму, что приводит к значительной потере устойчивости межчастичных контактов к механическим нагрузкам (Ефремова, 1992; Зайдельман, 2009).

В настоящее время, наряду с изучением реологических свойств равнинных почв, началось исследование реологического поведения почв горных ландшафтов Приполярного Урала, формирующихся на южном пределе криолитозоны (Старцев, 2018; Старцев и др., 2018).

Таким образом, проведенный анализ показал, что почвенная реология достаточно востребована для решения как практических задач (влияние сельскохозяйственного использования земель на структурную устойчивость почв), так и в проведении фундаментальных исследований (проблемы структурообразования). Однако реологические исследования в почвоведении пока немногочисленны, а на территории Республики Коми – единичны. При этом, с точки зрения реологии, почвы данного региона являются достаточно интересным объектом для изучения, так как они формируются в условиях повышенного увлажнения и длительного промерзания, что способствует развитию разнообразных деформационных процессов – тиксотропии, плавунности, солифлюкции, пучения и пр. В связи с этим, появилась необходимость проведения настоящих исследований, которые должны восполнить пробел в представлении о реологических свойствах таежных автоморфных и полугидроморфных почв Республики Коми. Эти исследования предполагают более детальное изучение влияния ландшафтных, биоклиматических и литологических условий на реологические свойства таежных почв.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Объекты исследований

Объектами исследования послужили таежные автоморфные текстурно-дифференцированные (дерново-подзолистые, подзолистые с микропрофилем подзола) и криометаморфические (светлоземы иллювиально-железистые) почвы, а также их полугидроморфные разности, сформированные под темнохвойными еловыми лесами на четвертичных отложениях водно-ледникового происхождения – моренных слабо валунных суглинках, покровных (пылеватые) суглинках и песчаных отложениях древнеаллювиальных террас (Варсонофьева, 1953). Таежные почвы, занимающие автоморфные позиции, формируются в хорошо дренируемых условиях рельефа (вершины увалов) с сезонным или кратковременным переувлажнением. Сезонное переувлажнение в автоморфных условиях возникает, как правило, в весенний период при интенсивном снеготаянии или при длительных дождях осенью. В напочвенном покрове преобладают зеленые мхи. Полугидроморфные таежные почвы занимают менее дренированные участки рельефа – выровненные участки увалов, пологие склоны, ложбины стоков. Они формируются в условиях с временно-застойным и длительно-застойным переувлажнением. В напочвенном покрове преобладают политриховые мхи с присутствием сфагновых, в ложбинах при наиболее влажных условиях доминирование полностью переходит к сфагновым мхам (Забоева, 1975; Витт, 1985; Процессы в целинных..., 1991; Атлас почв..., 2010).

Исследования проводили на 5-и ключевых участках (КУ), расположенных на территории Республики Коми в разных подзонах тайги, а также в лесотундре (рисунок 1). Краткая характеристика ключевых участков представлена в таблицах 1 и 2. Участки, расположенные в подзоне южной (КУ-I) и средней тайги (КУ-II), выделены ранее сотрудниками отдела почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН для мониторинга

температурных и влажностных параметров дерново-подзолистых (Канев, 2002) и подзолистых почв (Путеводитель..., 2002). Участки в северной (КУ-III), крайнесеверной тайге (КУ-IV) и лесотундре (КУ-V) выбраны нами непосредственно для проведения реологических исследований, ранее на этих площадках почвенные исследования не осуществлялись. Названия почв даны в соответствии с принципами диагностики и классификации почв России 2004 г. (Классификация..., 2004; Полевой..., 2008) и системой классификации WRB (World reference..., 2015).

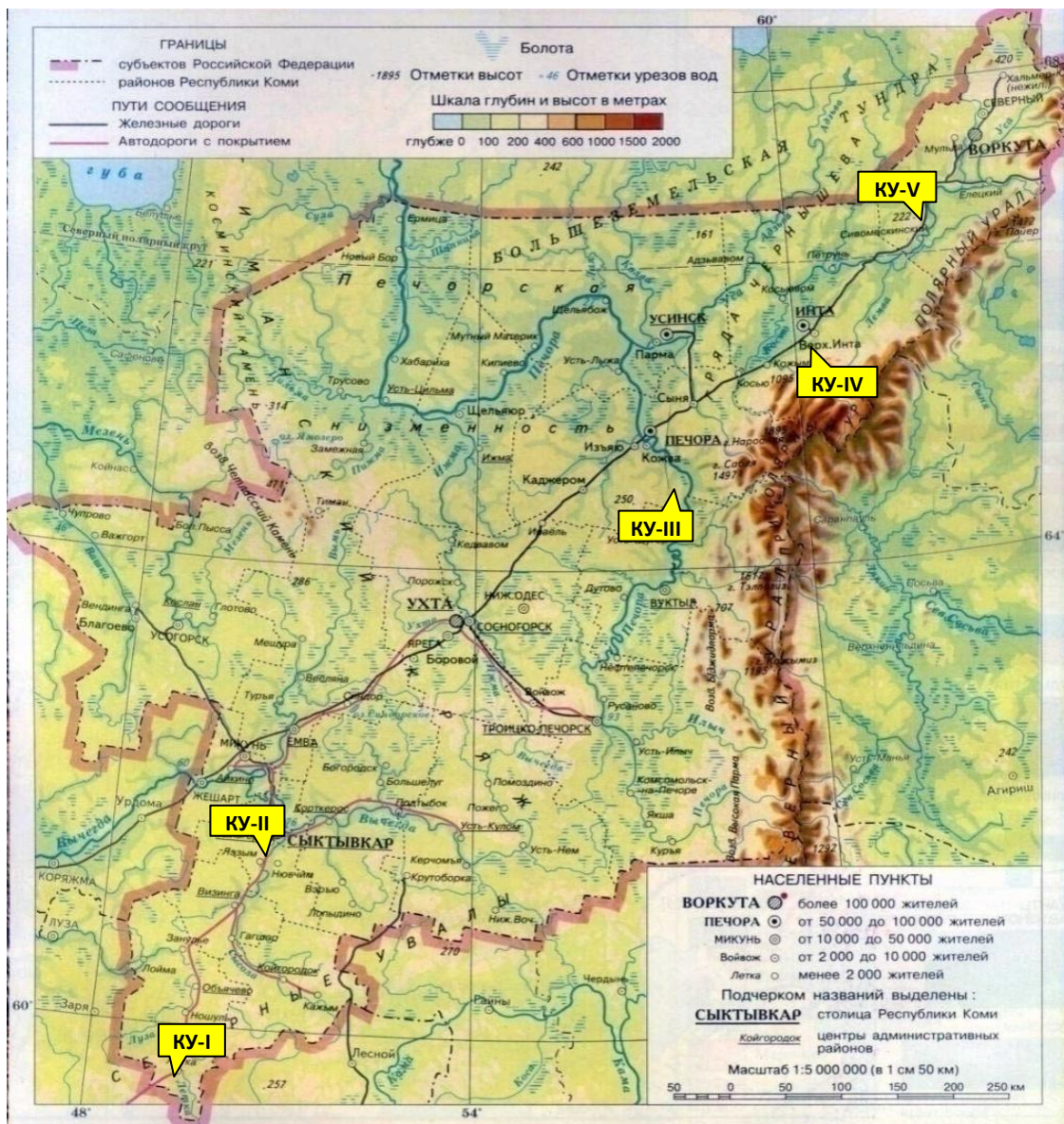


Рисунок 1 – Расположение объектов исследования.

Ключевые участки: КУ-I – южная тайга, КУ-II – средняя тайга, КУ-III – северная тайга, КУ-IV – крайнесеверная тайга, КУ-V – лесотундра

Таблица 1 – Краткая характеристика объектов исследования

Зона/ подзона	Ключевой участок, координаты	Рельеф, абсолютная высота, м над ур.м.	Номер разреза	Условия увлажнения	Растительность	Состав древостоя*	Бонитет
Южная тайга	КУ-I Летский стационар 59°38'N 49°22'E	Водно- ледниковая равнина 183	Л-2	Автоморфная	Ельник кислично- зеленомошный	8Е2Б+Ос+Пх	III-II
			Л-1	Полугидро- морфная	Ельник кислично- зеленомошный	8Е2Б+Ос+Пх	
			Л-3	Полугидро- морфная	Ельник кустарничково- сфагновый	8Е2Б+Пх	
Средняя тайга	КУ-II Максимовский стационар 61°39'N 50°41'E	Моренная равнина 170	Р-1-П	Автоморфная	Ельник чернично- зеленомошный	8Е2Б+Ос+Пх	III
			Р-8-Х	Полугидро- морфная	Ельник черничный зеленомошно- долгомошный	8Е2Б+Пх	
			Р-3-П	Полугидро- морфная	Ельник кустарничково- сфагновый	4Е4Б	
Северная тайга	КУ-III Печорский р-н 64°51'N 57°37'E	Водно- ледниковая равнина 224	Р-3	Автоморфная	Ельник чернично- зеленомошный	8Е2Б+К+Пх	III
			Р-3-Х	Полугидро- морфная	Ельник кустарничково- сфагновый	8Е1Б1+К	
			Р-2	Полугидро- морфная	Ельник осоково- сфагновый	5Е4Б1+К+Пх	
Крайне- северная тайга	КУ-IV Интинский р-н 65°53'N 60°30'E	Водно- ледниковая равнина 160	Р-39	Автоморфная	Ельник чернично- зеленомошный	8Е2Б	IV-V
			Р-42	Полугидро- морфная	Ельник кустарничково- сфагновый	5Е4Б	
			Р-71	Полугидро- морфная	Ельник кустарничково- сфагновый	4Е4Б	
Лесотундра	КУ-V	Моренная равнина	Р-4-1	Автоморфная	Ельник лишайниково- зеленомошный	8Е2Б	V

Зона/ подзона	Ключевой участок, координаты	Рельеф, абсолютная высота, м над ур.м.	Номер разреза	Условия увлажнения	Растительность	Состав древостоя*	Бонитет
	Воркутинский р-н 66°39'N 62°29'E	153	Р-4-Х	Полугидро- морфная	Ельник кустарничково- сфагновый	5Е4Б	
			Р-4-2	Полугидро- морфная	Ельник кустарничково- сфагновый	4Е4Б	

* Е – ель; Б – береза; Ос – осина; Пх – пихта; К – кедр.

Таблица 2 – Характеристика почв ключевых участков

Зона/подзона	Разрез №	Тип, подтип почвы*	Тип, подтип почвы**	Тип, подтип почвы***	Формула профиля
Южная тайга КУ-I	Л-2	Дерново-подзолистая	Дерново-подзолистая типичная текстурно-дифференцированная	Folic Albic Retisol	O-AY-EL-BEL-BT1- BT2-BC-C
	Л-1	Дерново-подзолистая слабоглееватая	Дерново-подзолистая поверхностно- глееватая текстурно- дифференцированная	Haplic Albic Retisol	O-AYg-ELg-BEL-BTel- BT1-BT2-BC-C
	Л-3	Дерново-подзолисто- глеевая	Дерново-подзолистая глееватая текстурно-дифференцированная мелкоторфянистая	Haplic Albic Retisol	T-AYg-ELg-BELg- BT1- BT2-BCg-Cg
Средняя тайга КУ-II	Р-1-П	Подзолистая с микропрофилем подзола	Подзолистая с микропрофилем подзола текстурно- дифференцированная	Folic Albic Retisol	O-EL[e-hf]-ELf-BEL- BT1-BT2-BT3-BC-C
	Р-8-Х	Торфянисто-подзолисто- глееватая	Торфяно-подзолисто-глеевая мелкоторфянистая текстурно- дифференцированная	Haplic Albic Retisol	T1-T2-ELhi,g-ELg- BELg-BT1g-BT2g-BCg
	Р-3-П	Торфяно-подзолисто- глеевая	Торфяно-подзолисто-глеевая торфянистая текстурно- дифференцированная	Haplic Albic Retisol	T1-T2-T3-ELhi,g-ELg- BELg-BT1g-BT2g- BT3g-BCg
Северная тайга	Р-3	Глееподзолистая	Светлозем иллювиально- железистый поверхностно-	Folic Albic Stagnosols	O-Eg-BHF-BF-Bcrm- CRM1-CRM2-CRM3-

Зона/подзона	Разрез №	Тип, подтип почвы*	Тип, подтип почвы**	Тип, подтип почвы***	Формула профиля
КУ-III			глееватый		BCg
	P-3-X	Торфянисто-подзолисто-глееватая	Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый	Histic Gleyic Stagnosols	T1-T2-ELhi,g-ELg-Bcrm,g-CRM1g-CRM2g-CRM3g-BCg-Cg
	P-2	Торфяно-подзолисто-глеевая	Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый	Histic Gleyic Stagnosols	T1-T2-T3-ELhi,g-Bcrm,g-CRM1g-CRM2g-BCg-Cg
Крайне-северная тайга КУ-IV	P-39	Глееподзолистая	Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый	Folic Albic Stagnosols	O-Eg,hi-BHF-BF-CRM1-CRM2-CRM3-D
	P-42	Торфянисто-подзолисто-глееватая	Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый	Histic Gleyic Stagnosols	T1-T2-ELhi,g-ELg,hi-Bcrm-CRM1-CRM2-BC-C
	P-71	Торфяно-подзолисто-глеевая	Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый	Histic Gleyic Stagnosols	T1-T2-ELhi,g-ELg,hi-Bcrm-CRM1-CRM2-CRM3-BCg-Cg
Лесотундра КУ-V	P-4-1	Глееподзолистая	Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый	Folic Albic Stagnosols	O-Eg,hi-BF-Bcrm-CRM-BCg-Dg
	P-4-X	Торфянисто-подзолисто-глееватая	Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый	Histic Gleyic Stagnosols	T1-T2-ELhi,g-Bcrm,g-CRMg-BCg
	P-4-2	Торфяно-подзолисто-глеевая	Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый	Histic Gleyic Stagnosols	T1-T2-ELhi,g-Bcrm,g-CRMg-Dg

*название почвы приведено в соответствии с классификацией почв (Классификация почв, 1977)

**название почвы приведено в соответствии с классификацией почв России (КиДПР, 2004)

*** название почвы приведено в соответствии с системой классификации WRB (World reference., 2015)

Ключевой участок КУ-I, или «Летский стационар», заложен в 1.2 км к северу от д. Крутотыла (Прилузский район РК) В.В. Каневым совместно с профессором МГУ Ф.Р. Зайдельманом в 1986 г. для изучения гидротермического режима дерново-подзолистых почв южной тайги (Канев, 2002). Исследования на данном участке проводились с 1986 по 1990 гг. (Канев, 2002), а также в более поздний период – при изучении кислотных свойств почв (Шамрикова, 2013), строения и свойств гумусовых веществ (Лодыгин, 2016; Лодыгин и др., 2016). Территория, на которой расположен участок исследований, приурочена к водно-ледниковым отложениям и принадлежит к крупной системе возвышенностей – Северные Увалы, разделяющей Северо-Двинский и Волжский бассейны. Участок КУ-I представляет собой склон водораздельного увала юго-западной экспозиции, уклоны склона не превышают $0,02^\circ$. Превышение верхней части склона над ложбиной составляет около 1,5–1,7 м, длина склона – 140 м. До глубины 1,2–1,7 м почвообразующие породы представлены покровными пылеватыми суглинками, ниже залегают моренные отложения. Согласно почвенно-географическому районированию данная территория относится к Летскому округу дерново-подзолистых почв Среднерусской провинции (Атлас почв..., 2010). По данным В.В. Канева (Канев, 2002), в пределах увала, на котором расположен участок исследований, почвенный покров представлен различными разновидностями дерново-подзолистых почв, образующих в зависимости от степени гидроморфизма ряд: дерново-подзолистые неоглеенные → дерново-подзолистые слабogleеватые → дерново-подзолистые глееватые → дерново-подзолистые глеевые. Нами использованы для проведения исследований три первые почвы, которые с учетом принципов классификации и диагностики новой классификации почв России образуют следующий ряд: дерново-подзолистые типичные → дерново-подзолистые поверхностно-глееватые → дерново-подзолистые глееватые мелкоторфянистые (таблица 2).

Ключевой участок КУ-II, или «Максимовский стационар», расположен в 6 км западнее г. Сыктывкара. Исследования на базе этого стационара проводили в течение нескольких десятилетий (Структурно-функциональная..., 2001; Путеводитель..., 2002; Шамрикова, 2013; Лодыгин и др., 2007). Территория, на которой выделен участок КУ-II, представляет собой холмисто-увалистую моренную равнину с узкими волнистыми водоразделами притоков Вычегды и Сысолы. Абсолютные высоты здесь достигают 230 м над ур.м., преобладающие – 160–190 м над ур.м.. Почвообразующие породы – крупнопылеватые покровные и моренные суглинки. Непосредственная площадка участка исследований находится в пределах моренного увала времен Московского оледенения (Втюрин, 1991). Превышения вершин холмов над разделяющими их ложбинами и тальвегами ручьев составляет 15–25 м. Увал сверху перекрыт мощной толщей (до 4,3 м.) покровных пылеватых суглинков, вскипающих при обработке раствором HCl с глубины 140–170 см от поверхности. Площадь участка занята первичными еловыми и смешанными лесами возраста 110–160 лет. Структура почвенного покрова участка состоит из сочетаний подзолистых почв с Al-Fe гумусовым субпрофилем, занимающих наиболее дренированные места выпуклых микроводоразделов, и торфянисто-(торфяно)-подзолисто-глеевых почв, формирующихся на наиболее ровных участках склонов, в низинах, устьях ложбин и лощин (Путеводитель..., 2002). Согласно принципам классификации и диагностики почв России (Классификация..., 2004; Полевой..., 2008), исследованные здесь почвы представлены следующим рядом: подзолистая с микропрофилем подзола → торфяно-подзолисто-глеевая мелкоторфянистая → торфяно-подзолисто-глеевая торфянистая (таблица 2).

Ключевой участок КУ-III находится в подзоне северной тайги, в 2–3 км южнее п. Кедровый Шор (РК, Печорский район). Территория, на которой расположен участок исследований, принадлежит к восточной части Большекожвинской возвышенности Печорской равнины. Ключевой участок

занимает юго-западной склон водораздельного увала водно-ледникового происхождения. Вершина увала перекрыта покровными пылеватыми суглинками, переходящими на склоне и в нижней части увала к пылеватым супесям. Согласно почвенно-географическому районированию (Атлас почв..., 2010), данный участок относится к Ижма-Печорскому округу торфянисто- и торфяно-подзолисто-глеевых иллювиально-гумусовых почв, иллювиально-гумусово-железистых подзолов, глееподзолистых и болотно-подзолистых почв. Выделенные здесь почвы представлены следующим рядом по мере нарастания гидроморфизма: светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый → светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый → светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый (таблица 2).

Ключевой участок КУ-IV, выделенный в подзоне крайнесеверной тайги, расположен в 30 км восточнее г. Инты (РК, Интинский район). Территория, на которой находится данный ключевой участок, относится к северо-восточной части Печорской низменности, бассейну среднего течения р. Уса. Участок КУ-IV занимает пологий склон водораздельного увала водно-ледникового происхождения. Согласно почвенно-географическому районированию (Атлас почв..., 2010), данный участок относится к Печора-Усинскому округу болотно-подзолистых, глееподзолистых, болотных и болотно-тундровых почв. Выделенные здесь почвы представлены следующим рядом по мере нарастания гидроморфизма: светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый → светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый → светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый (таблица 2).

Ключевой участок КУ-V расположен на наиболее северной границе распространения леса – в подзоне лесотундры, в 2–3 км юго-западнее поселок Сивая Маска (РК, Воркутинский район). Территория, к которой приурочен участок КУ-V, относится к северо-восточной части Печорской низменности, верхнему течению р. Уса. Участок выделен в пределах

водораздельного моренного увала. Согласно почвенно-географическому районированию (Атлас почв..., 2010), данный участок относится к Колва-Усинскому округу тундровых поверхностно-глеевых оподзоленных почв, крупнобугристых болотных комплексов с тундровыми остаточно-торфяными мерзлотными (бугров) и торфяно-болотными (мочажин) почвами, а также глееподзолистых потечно-гумусовых почв. Выделенные здесь почвы представлены аналогичным ключевому участку КУ-IV рядом почв: светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый → светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый → светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый (Таблица 2).

2.2 Методы исследований

При проведении исследований использовали сравнительно-географический метод в сочетании с профилно-генетическим подходом, позволяющим детально изучить специфику строения диагностических горизонтов и их признаков в связи с генезисом почв.

Физико-химические свойства почв изучали стандартными методами (Вадюнина и др., 1986; Теория и практика..., 2006) в отделе почвоведения, аккредитованной экоаналитической лаборатории и ЦКП «Хроматография» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Величину pH водный и солевой вытяжек, а также гидролитическую кислотность определяли потенциометрически со стеклянным и хлорсеребряным электродами; содержание общего углерода и азота – газохроматографическим методом на CNHS-анализаторе EA-1100 «Carlo Erba»; обменные катионы – вытеснением NH_4Cl с последующим атомно-абсорбционным определением на Shimadzu AA-6300; оксалатрастворимые формы соединений железа и алюминия – по Тамму, дитионитрасторимые – по Джексону; валовой химический состав почв – рентгенфлуоресцентным (VRA-33) методом; гранулометрический состав – методом Качинского с диспергацией и кипячением в присутствии NaOH. Результаты морфологического описания рассмотренных профилей и

физико-химических исследований приведены в приложении (приложения А, Б, В, Г).

Наблюдения за температурным режимом почв проводили с помощью цифровых логгеров «НОВО-U12» (США). Температурные датчики устанавливали на глубину 0, 20, 50, 100 см от поверхности почвы, период измерений – через каждые 3 часа в течение 2012–2017 гг.

Реологические исследования образцов почв выполняли с помощью современного модульного реометра MCR-302 «Anton Paar» (Австрия) на базе лаборатории кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ. Измерения проводили методом амплитудной развертки (колебательный метод) с измерительными системами плита-плита при постоянной температуре +20 °С. Применяемая методика хорошо адаптирована к изучению почвенных образцов предыдущими исследованиями Е.В. Шеина с соавторами (Шеин и др., 2014б), А.Г. Болотова (Болотов, 2015), Д.Д. Хайдаповой с соавторами (Хайдапова и др., 2016). Испытания проводили при контроле нормальной силы < 10 Н. Технические режимы испытаний следующие: расстояние между плато $h \sim 1\text{--}5$ мм, диаметр плато – 2,5 см, деформация сдвига γ – 0,001–100 %, угловая частота f – 0,5 Гц, количество измеряемых точек 30, температуру образца поддерживали элементами Пельтье на постоянном уровне 20 °С. Реологическое поведение почвенных образцов исследовали при влажности максимального капиллярного водонасыщения. Для этого растертую и просеянную через сито с диаметром отверстий 1 мм почву массой 2 г капиллярно насыщали дистиллированной водой в течение 24 ч до состояния максимального насыщения. Далее подготовленный образец загружали в прибор, помещая его между измерительными пластинами, верхняя из которых подвергает почвенный образец колебательным нагрузкам с постоянной частотой (0,5 Гц) и расширяющейся амплитудой. В ходе проведенных испытаний были получены параметры, характеризующие реологические свойства почв (рисунки 2 и 3).

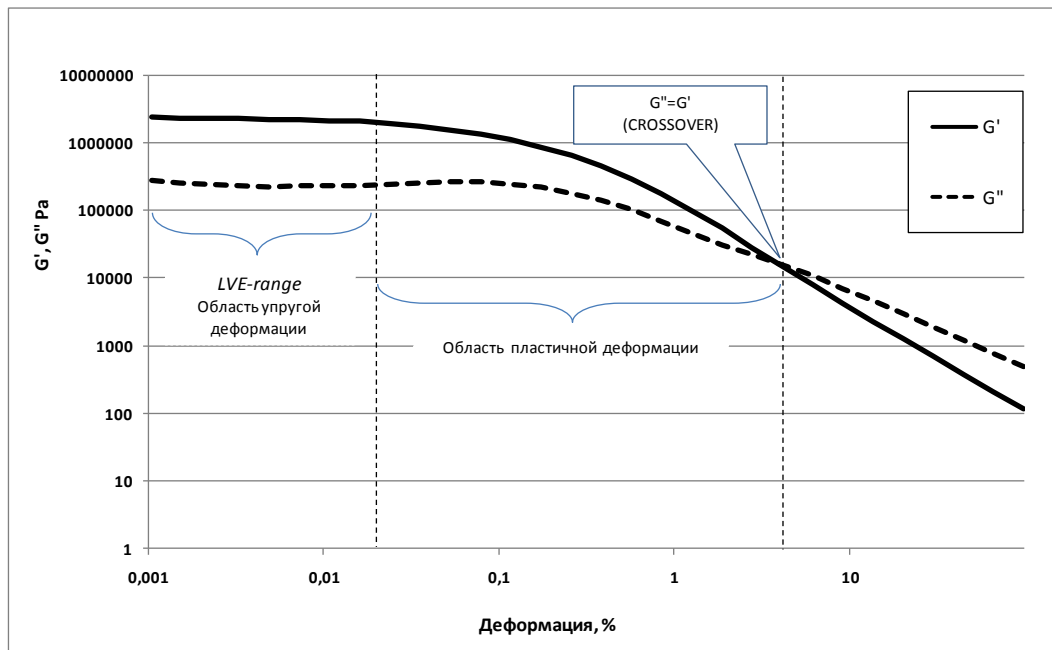


Рисунок 2 – Кривая зависимости модуля упругости (G') и вязкости (G'') от величины деформации на примере данных, полученных для элювиального горизонта E_g светлосема иллювиально-железистого поверхностно-глееватого северной тайги (разрез Р-3)

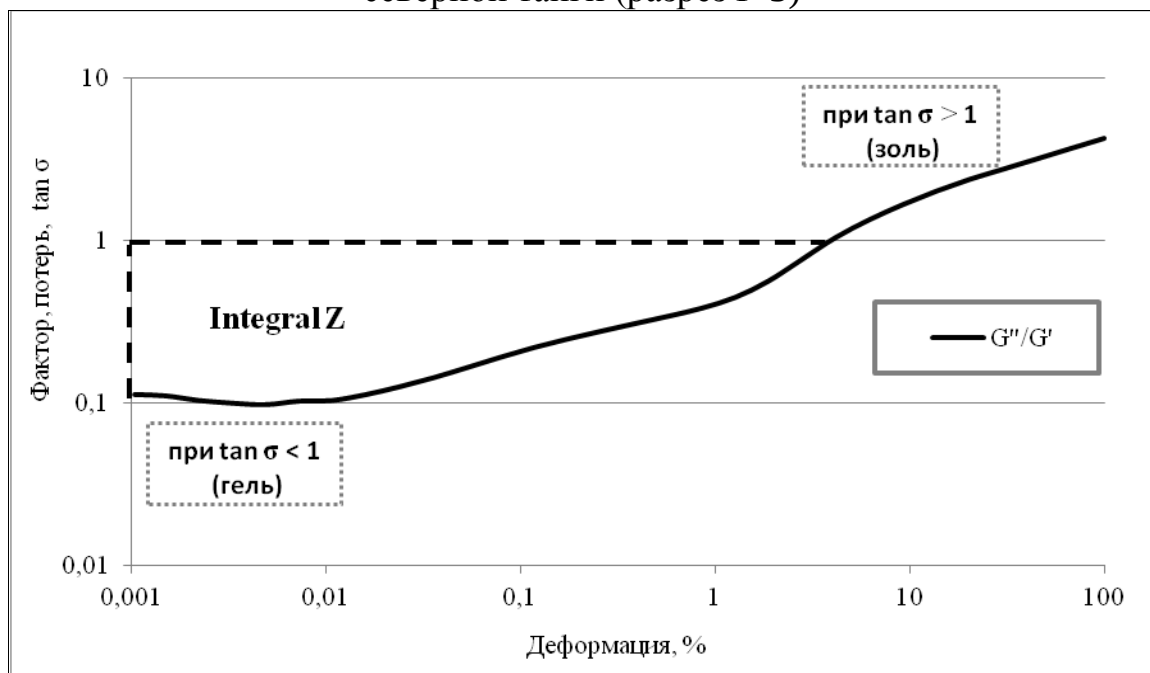


Рисунок 3 – Кривая зависимости фактора потерь ($\tan \delta$) от величины деформации для элювиального горизонта E_g светлосема иллювиально-железистого поверхностно-глееватого северной тайги (разрез Р-3)

Из указанных параметров следует отметить параметр G' - модуль упругости, который является мерой энергии деформации, сохраненной образцом в процессе сдвига. Значения модуля упругости в начале

деформационного процесса отражают величину прочности межчастичных почвенных контактов. G'' – модуль вязкости, является мерой энергии деформации, израсходованной во время процесса сдвига и потерянной для образца. Второй параметр – величина **LVE-range** – диапазон упругой деформации отражает область с постоянными величинами или с незначительными изменениями модуля упругости (G'). Параметр **CROSSOVER** (%) – диапазон пластичной деформации, определяется по точке пересечения модулей упругости и вязкости ($G'=G''$) и фиксирует полное разрушение структурных связей с переходом системы из состояния гель в золь или из твердообразного в текучее. Величина $\tan \delta$ (дельта) $= G''/G'$ – фактор потерь (рисунок 3) – это расчетная величина, необходимая для определения отношения вязкой и упругой части вязкоупругого деформационного поведения. Величина **Integral Z** – интегральная зона фактора потерь (рисунок 2), которая отражает величину межчастичного взаимодействия.

Статистическую обработку полученных данных проводили в программном пакете «Statistica» и «ExelToR» (Новаковский, 2016).

Глава 3 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Климатические условия

Климат территории исследований определяется его географическим расположением в сравнительно высоких широтах европейского Северо-Востока, значительной протяженностью с юго-запада на северо-восток, близостью Арктического бассейна, а также наличием Уральских гор к востоку от территории исследований. Континентальность климата возрастает с запада на восток – к Уральским горам. В летнее время сюда может проникать континентальный тропический воздух, с приходом которого устанавливается сухая и жаркая погода. Однако частое вторжение холодных арктических масс с Карского моря обуславливает неустойчивость атмосферной циркуляции с преобладанием циклонической пасмурной и дождливой погоды. Таким образом, территория исследований находится в пределах двух климатических областей: атлантико-континентального и атлантико-арктического. Средние многолетние климатические параметры отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Климатические условия региона исследований

Зона/подзона	Южная тайга	Средняя тайга	Северная тайга	Крайнесеверная тайга	Лесотундра
Метеостанция	Объячево	Сыктывкар	Печора	Усть-Уса	Петрунь
Среднегодовая температура воздуха, °С*	+1,0	+1,0	-2,2	-2,9	-4,1
Период с температурой воздуха <0 °С, дни*	172	173	205	213	221
Годовая сумма осадков, мм*	622	556	574	489	502
Годовая сумма испарения, мм**	500-550	450-500	250-300	250-300	200-250
Коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову	1,1-1,2	1,1-1,2	1,9-2,3	1,6-2,0	2,0-2,5

* по: СП 131, 2015; ** по: Атлас Республики Коми..., 1997.

Наличие в регионе исследований крупных и многочисленных болот, а

также густой речной сети, способствует повышенной влажности климата. Относительная влажность воздуха на территории исследований составляет 83–86 %, несколько снижаясь в теплый период до 53–60 %. Продолжительность солнечного сияния за год изменяется в пределах территории РК с юга на север от 1600 до 1400 часов. Активная циклоническая деятельность в регионе обуславливает выпадение достаточно большого количества атмосферных осадков до 500–600 мм в год. Основная часть осадков выпадает в теплый период, однако, в силу непродолжительности теплого периода при низких значениях поступающей солнечной радиации, снижается величина среднегодовой испаряемости, что отражается на увеличении коэффициента увлажнения по Н.Н. Иванову. В южной тайге величина испаряемости составляет 1,1–1,2, увеличиваясь к северу до 2,0–2,5 (лесотундра). Многолетняя среднегодовая температура воздуха на территории исследований снижается к северу от южной тайги до лесотундры более чем на 5 градусов. Холодный период года на юге территории продолжается в течение 170–180 дней, увеличиваясь к северо-востоку до 220 дней. При этом к северу холодный период становится не только продолжительным, но и более суровым. На севере региона температура воздуха в отдельные дни может достигать до минус 55 °С, на юге до минус 45 °С. Кроме того на севере территории в любой из летних месяцев возможны заморозки (Атлас Республики Коми..., 1997).

Прогнозные данные свидетельствуют о некотором потеплении климата региона вследствие общепланетарных климатических изменений (Jones et al., 1999; Глобальные..., 2000). По данным Коми ЦГМС повышение температуры воздуха на территории Республики Коми за период с 1951 года произошло на 0,6–1,4 °С (Козел, 2011). В условиях происходящих глобальных климатических изменений, потепление климата, несомненно, будет сказываться на изменении гидротермического режима почв. Согласно классификации, предложенной В.Н. Димо (Димо, 1972), исследуемые целинные подзолистые почвы по температурному режиму относятся к очень

холодному подтипу сезоннопромерзающего типа и характеризуются коротким периодом активных температур. По данным исследований сотрудников Института биологии Коми НЦ УрО РАН, проводивших свои работы в середине XX в., промерзание подзолистых почв в южной тайге в зимний период достигало 30–55 см (Канев, 2002), в средней и северной тайге до 60 и 100 см соответственно (Забоева, 1975; Казаков, 1985; Кононенко, 1986). Однако последние исследования говорят о значительном уменьшении мощности сезонного промерзания почв в таежной зоне. В лесотундре отрицательные температуры доходят только до 50 см и держатся в течение 6 месяцев (с конца октября по май). В северной тайге период промерзания составляет около 5 месяцев (ноябрь-май) с мощностью до 20–30 см (Каверин и др., 2016). В средней тайге период промерзания аналогичен показателям северной тайги, однако отрицательные температуры прослеживаются в основном только в подстилке (Дымов, Старцев, 2016).

3.2 Растительность

Территория исследований включает в себя несколько природных подзон – южную, среднюю, северную и крайнесеверную тайгу, а также зону лесотундры (Юдин, 1954). Южная тайга распространяется до 60° с. ш. Здесь господствуют еловые и елово-пихтовые кислично-зеленомошные и кислично-папоротниковые леса. Древесный ярус развит хорошо, имеет III и II бонитет. Зональные признаки составляют примесь липы, а также наличие суходольных лугов. Сосняков мало, занимают они боровые террасы в верхнем течении реки Сысолы и ее притоков. В травяно-кустарничковом ярусе на дренированных местообитаниях значительна примесь трав (сныть, копытень). В смешанных лесах иногда формируется пестрый по видовому составу кустарничковый ярус из шиповника, калины, жимолости лесной. Площади болот незначительны (Козубов и др., 1999).

Среднетаежная подзона простирается к северу до 63° с.ш. На дренированных участках водоразделов господствуют зеленомошно-

черничные еловые леса, класс бонитета III, IV, V, сомкнутость крон 0,7–0,8, высота еловых древостоев составляет в среднем 18–20 м. При появлении признаков застойности атмосферных осадков развита примесь политрихума, далее по мере ухудшения условий увлажнения леса переходят в зеленомошно-долгомошные и зеленомошно-сфагновые группы V бонитета. В центральной части водоразделов господствуют сфагновые мхи, образующие крупные безлесные сфагновые болота. Травянистая растительность слабо развита в напочвенном покрове, что является характерной особенностью средней тайги. По борovým террасам рек широко распространены сосновые леса (Атлас почв..., 2010; Козубов и др., 1999).

Северотаежную подзону выделяют примерно до 65° с.ш. На дренированных территориях приречных увалов господствуют зеленомошные еловые и березово-еловые леса часто с примесью пихты, кедра, осины. На плакорах преобладают ельники зеленомошно-долгомошного типа. Древесный ярус развит хорошо, сомкнутость крон 0,5–0,7; средняя высота древостоя 15–17 м, класс бонитета V, редко IV. Напочвенный покров дренированных местообитаний имеет мозаичный характер: на преобладающем зеленомошном фоне появляются примеси лишайников, пятна политрихума и сфагнума по микрозападинам. В центральной части обширных водораздельных равнин господствуют низкобонитетные елово-березовые сфагновые леса с крупными массивами верховых сфагновых грядово-мочажинных болот. По болотам расселяются карликовая березка, кассандра, багульник, голубика, клюква. Сосновые леса занимают меньшую площадь, приурочены к флювиогляциальным и древнеаллювиальным пескам надпойменных рек. Характерным признаком северной тайги является наличие элементов тундрового ландшафта по узким морозобойным долинам, где выпадает лесная растительность, развита карликовая березка с ивовыми зарослями вдоль русла ручьев (Козубов и др., 1999; Атлас почв..., 2010).

Крайнесеверотаежная подзона представляет собой северный предел развития темной тайги, примерно до 66° с.ш. По дренированным

приречным увалам развиты смешанные елово-березовые леса зеленомошного, лишайниково-зеленомошного типа. Древесный ярус не превышает 15 м, сомкнутость крон 0,3–0,5, бонитет V-Va. На плоских водораздельных слабодренированных пространствах господствуют смешанные елово-березовые и березовые леса долгомошно-сфагнового и сфагнового типов. Большая часть лесов заболочена. Высокую оценку обилия в нижних ярусах имеют кустарнички, местами карликовая березка, осока шаровидная. В моховом покрове преобладают сфагновые мхи с примесью политрихума и зеленых мхов. Лесные массивы чередуются с крупными безлесными верховыми сфагновыми болотами. На севере подзоны распространены крупнобугристые болота. По долинам мелких рек лес отсутствует, уступая место тундровой растительности в виде безлесных мохово-ерниковых зарослей (Козубов и др., 1999).

Лесотундра является переходной полосой от таежной зоны к тундровой. На водоразделах господствуют ерниковые тундры и реликтовые мерзлотные торфяники с мочажинно-крупнобугристым рельефом. В долинах рек и на дренированных склонах появляются редкостойные елово-березовые и березовые мелколесья. Древостой угнетен, много суховершинных и сухих деревьев, высота стволов 6–8 м, сомкнутость крон 0,3. Повсеместно распространены заросли карликовой березки высотой 60–80 см. Кустарничковый ярус хорошо выражен: вороника, голубика, багульник, черника, брусника, напочвенный покров мозаичный – пятна зеленых, сфагновых мхов и лишайников. Под редколесьями многолетняя мерзлота отсутствует. В южной части лесотундры характерным является выход еловых, елово-березовых и березовых лесов на водоразделы, однако по занимаемой площади они уступают бугристым болотам и ерниковым тундрам (Козубов и др., 1999; Атлас почв..., 2010).

3.3 Геологическое строение, геоморфология, рельеф

Территория исследований располагается в пределах северо-восточной

части Восточно-Европейской равнины, тектоническую основу которой составляет Восточно-Европейская платформа, состоящая из двух крупных блоков земной коры: Русской и Печорской плит. Между плитами располагается крупное, орографически выраженное, складчатое сооружение – Тиманская гряда. Каждая из плит имеет двухъярусное строение. Нижний ярус – интенсивно дислоцированный и метаморфизированный кристаллический фундамент, верхний – полого залегающий слабометаморфизованный осадочный чехол. Мощность осадочного чехла колеблется от 0–2 км (Тиманская гряда) до 10–14 км и более в пределах впадин (Атлас почв..., 2010). Чехол Русской плиты сложен осадочными породами, наиболее древние из которых относятся к нижнему рифею (нижняя граница возраста 1650 млн. лет). Чехол Печорской плиты сложен мощным комплексом палеозойских, мезозойских и кайнозойских пород (Тектоника..., 1969; Атлас почв ..., 2010). В целом, в геологическом строении территории исследований участвуют разнообразные по составу и происхождению горные породы, от древнейших раннедокембрийских (с возрастом пород до 2 млрд. лет) до современных (Фишман, Пыстин, 2001). Относительно современные четвертичные породы водно-ледникового происхождения являются результатом отложений четырех крупных оледенений: Лихвинского, Днепровского, Московского, Вюрмского (Чернов, 1953). Осадки ледниковых отложений представлены моренными валунными суглинками, флювиогляциальными песчаными и суглинистыми отложениями, осадки межледниковий в основном аллювиальные и озерно-болотные. Послеледниковые (голоценовые) отложения представляют собой озерные и аллювиальные песчано-глинистые и торфяные накопления, развитые по долинам рек (Геологические..., 1964).

Рельеф территории исследований в значительной мере сохранил доледниковые формы. В формировании современного рельефа основное влияние оказали экзогенные факторы: ледниковая и водно-ледниковая эрозия и аккумуляция, а также речная эрозия. В современном структурном плане на

поверхности Русской и Печорской плит выделяют крупные положительные и отрицательные региональные структуры (с юго-запада на северо-восток): северная часть Волго-Уральской антиклизы, Мезенская синеклиза, Тиманская гряда, Печорская синеклиза и Предуральский краевой прогиб. В пределах перечисленных региональных структур выделяют три орографические области (с юго-запада на северо-восток): Северные Увалы, Вычегодско-Мезенская равнина, Тиманская возвышенность и Печорская низменность (Зеккель, 1963). Северные Увалы представляют собой полого-холмистую возвышенность (с абсолютными высотами 200–270 м над ур.м.), изреженную руслами рек Луза, Летка, Сысола и притоками Камы. Для Вычегодско-Мезенской равнины характерны широкие водораздельные плато с преобладающими высотами 150–200 м над ур.м. Тиманская возвышенность представляет собой сглаженные денудационные равнинные поверхности, вытянувшиеся с юго-востока на северо-запад, служащие водоразделом бассейнов Мезени, Вычегды и Печоры. Преобладающие высоты 200–250 м над ур.м. Печорская низменность расположена между Тиманом и Уралом, представляет собой обширную область опускания земной коры, заполненную четвертичными отложениями. Центральную часть Печорской равнины занимает долина р.Печора с эрозионно-аккумулятивными террасами. Равнина имеет общий уклон к северу, отметки поверхности водоразделов 150–180 м (Варсановьева, 1953). В северной части Печорской низменности выделяют ландшафты Малоземельской, Большеземельской и Тиманской тундр. Большеземельская тундра представляет собой холмистую равнину с вытянутыми возвышенностями грядового характера (мусюры), превышающими окружающую равнину на 40–50 м и сложенными обломочным материалом и суглиниками. Их рассматривают как конечноморенные образования. (Атлас почв..., 2010).

3.4 Почвообразующие породы

Почвообразующие породы на территории исследований – четвертичные отложения водно-ледникового происхождения. Большая часть почвообразующих пород имеет кислую реакцию среды и невысокую емкость катионного обмена. Наиболее распространены моренные слабо валунные суглинки и двучленные почвообразующие породы – флювиогляциальные пески и супеси, подстилаемые с 60–80 см моренными суглинками. Кроме того встречаются песчаные отложения древнеаллювиальных террас, зандровых равнин. Большие площади занимают покровные (пылеватые) суглинки, формирование которых связывают с последним вюрмским или валдайским оледенением (таблицы 4, 5).

Покровные суглинки залегают плащеобразно, преимущественно тяготея к повышенным водораздельным увалам (Варсановьева, 1953), занимая позиции с абсолютными высотами 150–300 м над ур.м. Мощность покровных суглинков достигает 1–5 м, суглинки имеют характерный желто-бурый (палево-бурый) цвет. Породообразующими минералами в пылеватых суглинках являются кварц (66 %) и калиевые полевые шпаты (27 %). Многие исследователи отмечают высокую макропористость покровных суглинков, достигающую 50 %, а также вертикальную трещиноватость и хорошую оструктуренность (Забоева, 1975; Конищев, 1981). Признаками, отличающими покровные суглинки от других генетических типов суглинистых наносов, прежде всего от моренных отложений, считаются: хорошая сортированность, пылеватость, отсутствие или незначительное содержание песка (Геологические..., 1964). По гранулометрическому составу в них преобладает крупнопылеватая (0,05–0,01 мм) фракция, крупнообломочный материал отсутствует, изредка встречается мелкая галька (Забоева, 1975). В силу их относительной гранулометрической и минералогической однородности покровных суглинков, формирующиеся на этих породах почвы, наиболее ярко проявляют свои подзональные особенности.

Таблица 4 – Гранулометрический состав покровных суглинков (по: Забоева, 1975)

Порода	Глубина см	Содержание фракций в % (размер частиц в мм)						
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
Покровные (пылеватые) суглинки	150-155	0	0	53	8	10	29	47
	90-100	1	3	52	4	14	26	44
	120-130	0	10	48	7	6	29	42
	150-160	0	0	40	4	13	43	60

Таблица 5 – Физико-химические свойства покровных суглинков (по: Забоева, 1975)

Порода	Глубина см	Валовой состав, % на прокаленную навеску					pH		Поглощенные основания $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, смоль/кг
		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	CaO	H_2O	KCl	
Покровные (пылеватые) суглинки	150-155	73,78	5,64	14,84	1,48	0,26	5,2	3,7	10,4
	90-100	-	-	-	-	-	6,1	4,3	16,4
	120-130	-	-	-	-	-	-	-	18,9
	150-160	-	-	-	-	-	6,0	4,9	24,7

При этом, по данным В. Д. Тонконогова (2010), отмечается определенная тенденция уменьшения содержания ила при продвижении от центра Восточно-Европейской равнины к северу и северо-востоку. Таким образом, к северу покровные пылеватые суглинки становятся более легкими по гранулометрическому составу.

3.5 Почвенный покров

Структура почвенного покрова территории исследований складывается из сочетаний почв различной степени увлажнения в пределах водораздельных увалов. Автоморфные почвы всегда образуют сочетания с полугидроморфными почвами, которые занимают межувалистые понижения, шлейфы пологих склонов, где появляется переувлажнение за счет ослабления стока атмосферных вод. В наиболее влажных условиях, обычно это центральная часть водоразделов, формируются торфяно-болотные почвы с застойным типом водного режима. На песчаных почвообразующих породах под зеленомошно-лишайниковыми сосняками развиты подзолы – почвы древнеаллювиальных боровых террас, зандровых ландшафтов. В долинах рек в условиях ежегодного затопления паводковыми водами формируются аллювиальные пойменные почвы (Атлас почв ..., 2010)

По занимаемой площади таежные автоморфные почвы, формирующиеся на суглинистых почвообразующих породах, составляют около 25 % территории исследований. При этом они являются своеобразными маркерами той или иной подзоны, так как в них наиболее ярко проявляются подзональные биоклиматические особенности. В рамках классификации почв 1977 года (Классификация почв..., 1977) в автоморфных условиях подзоны южной тайги, в наиболее дренируемых участках приречных увалов под зеленомошными еловыми лесами, исследователи традиционно выделяют в типе подзолистых почв подтип дерново-подзолистых. В аналогичных условиях средней тайги – подтип подзолистых почвы. В тех же условиях северной и крайнесеверной тайги, а также в зоне

лесотундры, выделяют подтип глееподзолистых почв. Общими свойствами таежных автоморфных подзолистых почв Республики Коми является высокая кислотность по всему профилю, выщелоченность обменных оснований, фульватный тип гумуса, обеднение подзолистого горизонта илистой фракцией и полуторными оксидами (Забоева, 1975). В результате заторможенных биохимических процессов органическое вещество таежных почв отличается высокой подвижностью и высоким содержанием ненасыщенных низкомолекулярных органических кислот. Эти соединения могут пропитывать почву на значительную глубину, формируя органо-минеральные комплексы с соединениями железа и алюминия.

Особенность дерново-подзолистых почв обусловлена значительным развитием под пологом ельников травянистой растительности в комплексе с кислично-зеленомошным напочвенным покровом. В составе трав значительна доля южных видов (копытень, сныть). Основным диагностическим горизонтом дерново-подзолистых почв является гумусово-аккумулятивный A_1 горизонт, мощностью до 5–10 см с хорошей зернистой структурой. В A_1 накапливается до 3–7 % аккумулятивного гумуса. Дерновый процесс в этих почвах сочетается с полным отсутствием или слабыми признаками оглеения в верхней части профиля. Вместе с тем, почвы кислые, выщелочены, ненасыщены основаниями, подзолистый процесс формирует элювиально-иллювиальный тип профиля с четкой дифференциацией по содержанию илистой фракции и полуторных оксидов (Канев, 2002).

В типичных подзолистых почвах средней тайги дерновый процесс отсутствует, здесь более выражены признаки оглеения в виде ржавых пятен в верхней части профиля, вызванные сезонным поверхностным переувлажнением. Профиль четко дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу. Основным профилеобразующим процессом является кислотный гидролиз первичных и вторичных алюмосиликатов под действием высоко- и низкомолекулярных органических кислот, в значительном

количестве поступающих из моховой подстилки. Гумус фульватного типа создает кислую реакцию среды по всему профилю и высокую степень ненасыщенности почв основаниями (Забоева, 1975; Атлас почв..., 2010).

Глееподзолистые почвы северной, крайнесеверной тайги и лесотундры в силу их формирования в условиях более высокого гидроморфизма отличаются более выраженными признаками оглеения подзолистого горизонта в виде сизо-ржавых пятен и наличия железисто-марганцевых конкреций (Кононенко, 1986). Характерным также является высокое содержание подвижных гумусовых соединений фульватного типа, которые активно поступают из подстилки и образуют органо-минеральные альфегумусовые соединения. Эти соединения частично осаждаются под подзолистым горизонтом с формированием специфичного иллювиально-гумусово-железистого горизонта ВНГ или мигрируют ниже по профилю (Атлас почв..., 2010).

Согласно классификации почв 1977 года (Классификация почв..., 1977), в полугидроморфных условиях таежной зоны выделяют тип болотно-подзолистых почв, которые составляют более 50 % территории исследований (Атлас почв..., 2010). К северу, вследствие возрастания избыточного увлажнения, доля полугидроморфных почв в ландшафте значительно увеличивается. В силу длительного переувлажнения в болотно-подзолистых почвах идет сложное сочетание процессов торфо-, глее- и подзолообразования. Согласно региональной классификации (Забоева, 1975; Атлас почв..., 2010), реализованной в легендах к государственным почвенным картам масштаба 1 : 1 00000 на территорию республики (Q-39 «Нарьян-Мар» (1977), Q-40 «Печора» (1982), Q-41 «Воркута» (1999), P-39 «Сыктывкар» (1958), P-40 «Красновишерск» (1988), в зависимости от степени гидроморфности в типе болотно-подзолистых почв предложено выделять два подтипа: торфянисто-подзолисто-глееватые (Пб1) с мощностью оторфованной подстилки 10–20 см, и торфяно-подзолисто-глеевые (Пб2) с мощностью торфяной подстилки 20–30 см. Для профиля болотно-

подзолистых почв характерна кислая реакция среды, потечность гумуса, высокое содержание в верхней части профиля железо-марганцевых конкреций, при этом каких-либо четких подзональных признаков в них к настоящему времени пока не выявлено. В связи с этим таежные полугидроморфные почвы, в отличие от автоморфных, рассматриваются без выделения подзональных подтипов. И.В. Забоевой (Забоева, 1975; Атлас почв..., 2010) отмечается лишь некоторая тенденция снижения к северу степени оподзоленности профиля полугидроморфных болотно-подзолистых почв при усилении признаков их оглеення. Кроме того, в этом ряду становятся более выраженными признаки тиксотропности в верхней части профиля почв.

В настоящее время принята и активно используется классификация почв 2004 года (Классификация почв..., 2004; Полевой..., 2008), согласно которой исследованные нами таежные автоморфные почвы, формирующиеся под влиянием подзолистого процесса, подразделяются на более высоком таксономическом уровне. Почвы, развитые на тяжелых покровных суглинках под пологом южно- и среднетаежных еловых лесов, в соответствии со спецификой их морфологического строения, следует отнести к отделу текстурно-дифференцированных почв типу дерново-подзолистых (ключевой участок в южной тайге) и подзолистых (ключевой участок в средней тайге). Почвы северной, крайнесеверной тайги и лесотундры приурочены к более легким суглинистым отложениям, они, согласно морфологическому строению их профиля, соответствуют отделу криометаморфических почв типу светлоземов иллювиально-железистых). Профиль текстурно-дифференцированных почв характеризуется наличием элювиального (EL) горизонта в верхней части и текстурного (BT) с хорошо выраженной призматической структурой, скелетанами и глинистыми кутанами – в срединной части профиля. Профиль светлоземов формируется под влиянием подзолистого процесса в сочетании с криометаморфическим оструктурированием минеральной массы, в ходе которого образуется

специфичная угловато-крупитчатая структура (CRM горизонт). Текстуальный горизонт может быть либо слабо выражен, либо отсутствовать (Тонконогов, 2010).

Текстуально-дифференцированные почвы, в отличие от светлоземов, характеризуются более значимой дифференциацией профиля по содержанию илистой фракции и полуторных оксидов. Генетические отличия текстуально-дифференцированных почв и светлоземов обусловлены спецификой распространения водно-ледниковых отложений пылевато-суглинистого гранулометрического состава, а также усилением процессов промерзания почв к северу (Тонконогов и др., 2006; Тонконогов, 2010). Следует отметить, что диагностика и классификация криометаморфических почв (светлоземов), и в частности CRM горизонта, являются достаточно сложной задачей в силу отсутствия четких физико-химических признаков их выделения. Кроме того, в классификации почв России (Классификация..., 2004; Полевой..., 2008) не выделены гидроморфные типы и подтипы почв с CRM горизонтом. В этой связи исследование физико-механических свойств текстуально-дифференцированных почв (дерново-подзолистых, подзолистых), криометаморфических (светлоземов иллювиально-железистых) почв и их гидроморфных типов (подтипов) позволит более четко охарактеризовать специфические особенности данных почв и выявить их дополнительные диагностические показатели.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ¹

4.1 Физико-химические свойства таежных автоморфных и полугидроморфных почв

4.1.1 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв южной тайги

Исследуемый участок (КУ-I) представлен рядом дерново-подзолистых текстурно-дифференцированных почв с различной степенью гидроморфизма (рисунок 4). Учитывая морфологические особенности (приложение А, таблица 1), согласно принципам новой классификации (Классификация и диагностика..., 2004; Полевой..., 2008) почва, формирующаяся на вершине увала (в автоморфных условиях), диагностирована нами как дерново-подзолистая типичная текстурно-дифференцированная (разрез Л-2). Почвы, формирующиеся в средней и нижней частях увала (в полугидроморфных условиях), диагностированы соответственно как дерново-подзолистая поверхностно-глееватая текстурно-дифференцированная (разрез Л-1) и дерново-подзолистая глееватая текстурно-дифференцированная мелкоторфянистая (разрез Л-3).

Морфологическое строение и физико-химические свойства исследуемых дерново-подзолистых текстурно-дифференцированных почв южной тайги представлены в приложении А (таблица 1), Б (таблица 1) и В (таблица 1). Детально особенности строения и свойств почв данного ключевого участка (КУ-I) рассмотрены ранее в работах ряда авторов

¹ В данной главе обсуждаются результаты диссертационной работы автора, опубликованных в статьях:

1. Хайдапова Д.Д., **Холопов Ю.В.**, Забоева И.В., Лаптева Е.М. Реологические особенности коагуляционной структуры северотаежных торфянисто-подзолисто-глееватых почв Европейского Северо-Востока // Вестник Московского Университета. Серия 17. Почвоведение. – 2014. – № 1. – С. 20–25.
2. **Холопов Ю.В.**, Хайдапова Д.Д., Лаптева Е.М. Реологические свойства северотаежных автоморфных и полугидроморфных криометаморфических почв европейского северо-востока России (Республика Коми) // Почвоведение. – 2018а. – № 4. – С. 439–450.
3. **Холопов Ю. В.**, Хайдапова Д. Д. , Лаптева Е. М. Физико-механические свойства автоморфных таежных почв Республики Коми (по данным реологических исследований) // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2018б. – № 42. – С. 24–53.
4. Khaydapova D., Klyueva V., **Kholopov Yu.**, Chestnova V. The rheological approach in an assessment of interparticle interactions in soils // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 201. – № 11. – P. 1–4

(Забоева, Рубцов, 1985; Почвы европейского северо-востока..., 1989; Канев, 2002; Атлас почв..., 2010; Шамрикова, 2013; Лодыгин, 2016).

Рассматриваемые нами почвы формируются под пологом ельников III-IV класса бонитета с примесью березы, осины, пихты с мелкотравно-моховым или мелкотравным напочвенным покровом. В напочвенном покрове присутствие зеленых мхов незначительно. Вниз по склону увала, по мере нарастания влажности доминирование переходит к сфагновым видам мхов. Органическая масса горизонтов лесных подстилок состоит из хвоинок, листьев, чешуи коры, еловых шишек, остатков корней мха.

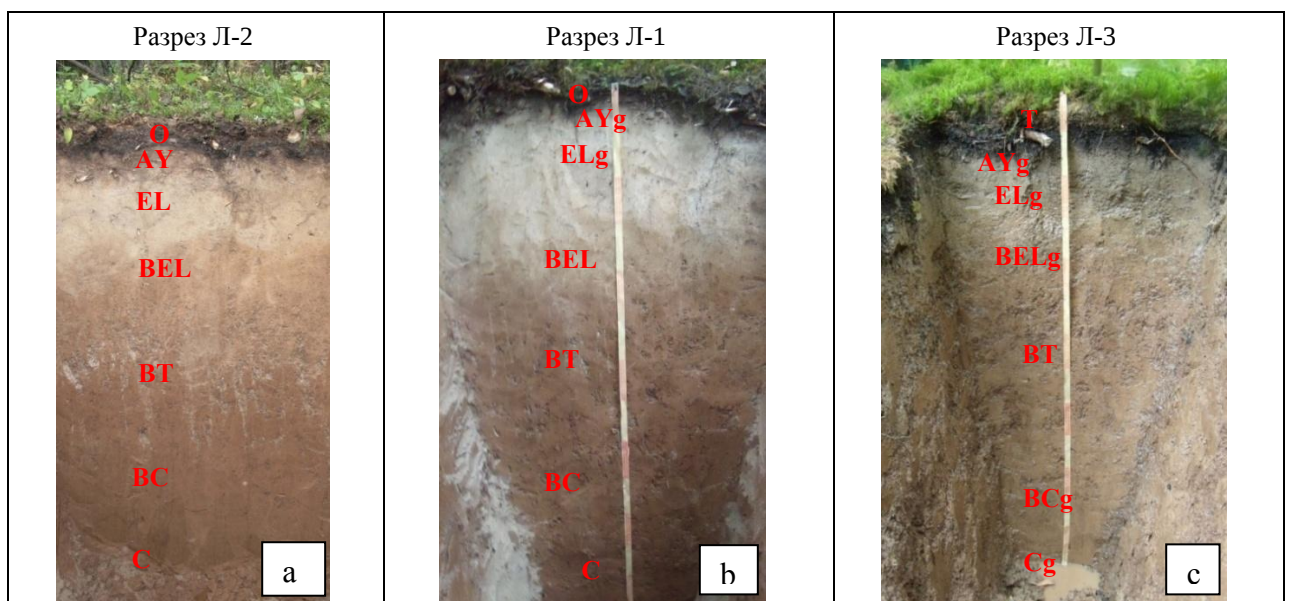


Рисунок 4 – Морфологическое строение текстурно-дифференцированных почв южной тайги (участок КУ-I): дерново-подзолистая типичная (а), дерново-подзолистая поверхностно-глееватая (b), дерново-подзолистая глееватая мелкоотторфованная (с)

Особенностью морфологического строения (приложение А, таблица 1) дерново-подзолистых текстурно-дифференцированных почв является сочетание элювиального горизонта (EL) с текстурным (BT). Это сочетание горизонтов характерно и для полугидроморфных почв. Текстурный горизонт (BT) мощностью до 100 см выделяется хорошо выраженной многопорядковой призматической структурой с белесой присыпкой на гранях структурных отдельностей. Отличительной чертой морфологического строения исследуемых почв является также наличие серо-гумусового

горизонта АУ с зернистой структурой. Серо-гумусовый горизонт АУ формируется непосредственно под подстильно-торфяным горизонтом О и характеризуется аккумуляцией органических веществ, гумуса (Канев, 2002; Шамрикова, 2013; Лодыгин и др., 2016). По мере нарастания влажности почв (разрезы Л-1, Л-3) увеличивается мощность торфянистой подстилки, при этом в серо-гумусовом горизонте (АУ) накапливается большое количество органических веществ и растительных остатков со средней и слабой степенью разложения. В профиле почвы, приуроченной к ложбине, оглеение наиболее ярко выражено в виде сизых и ржавых пятен, наличия бурых ортштейнов в верхней части профиля. В то же время, по мнению В.В. Канева (2002), на морфологическое строение исследуемых дерново-подзолистых почв немаловажное влияние оказывают периодические ветровальные вывалы деревьев, изменяющих естественное развитие зональных процессов (дернового, оподзоливания, оглеения и торфонакопления).

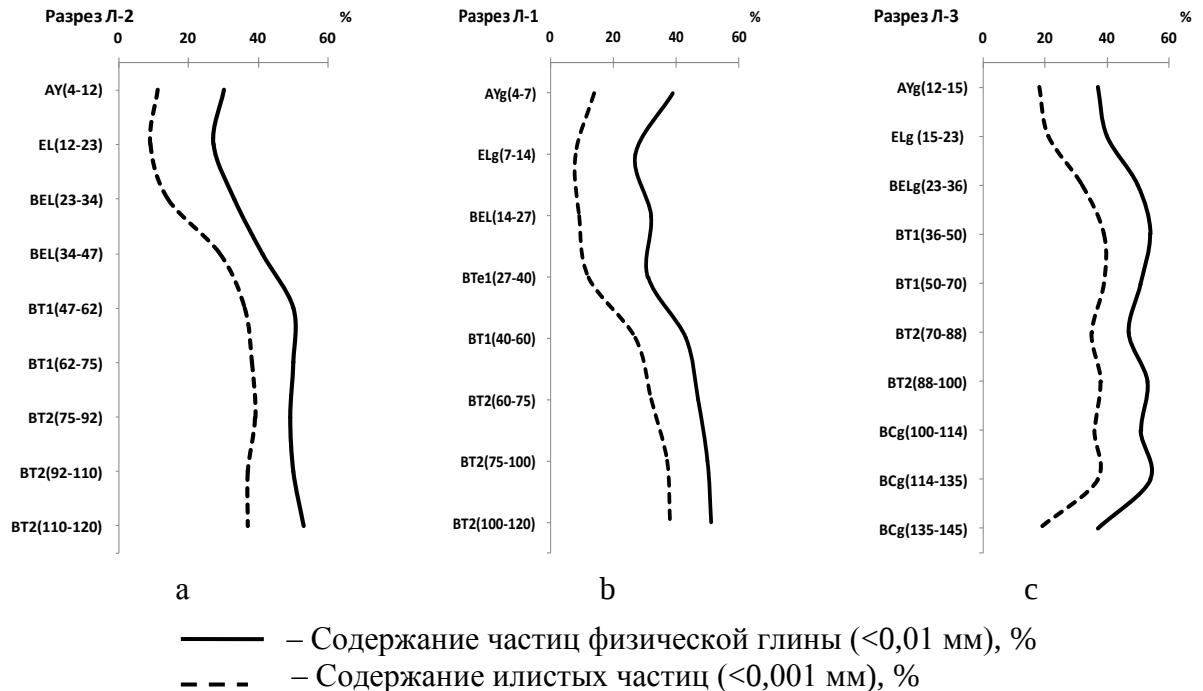


Рисунок 5 – Распределение фракций физической глины и ила в профиле почв южной тайги (КУ-I). Под буквами а, б и с те же почвы, что на рисунке 4

Таблица 6 – Валовой химический состав почв южной тайги (Участок КУ-I)*

Горизонт (глубина, см)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Молекулярные отношения			КД**	
	%									SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Разрез Тр.1, пк 6 Дерново-подзолистая неоглееная***														
АТ (4–8)	77,2	3,4	11,5	0,2	1,1	0,8	0,9	1,7	2,0	56,3	10,5	8,9	0,9	1,0
ЕL (9–16)	79,3	3,6	9,9	0,1	0,8	0,8	0,2	1,6	3,1	59,0	13,6	11,1	1,0	1,0
ЕL (20–28)	79,5	3,2	11,3	0,1	0,6	0,9	0,1	1,7	2,8	66,9	12,0	10,2	0,9	1,0
ЕLBT (30–37)	76,9	4,2	11,4	0,1	0,9	1,3	0,1	1,6	3,0	48,4	11,4	9,2	1,3	1,0
ВТ1 (40–50)	73,7	5,1	14,8	0,1	0,7	1,6	0,1	1,3	2,5	38,7	8,4	6,9	1,6	0,9
ВТ1 (50–60)	74,9	4,9	14,2	0,1	0,8	1,5	0,1	1,0	2,2	40,5	9,0	7,3	1,6	0,9
ВТ1 (63–70)	71,9	6,6	14,1	0,1	0,9	1,9	0,1	1,3	2,8	29,1	8,7	6,7	2,1	0,9
ВТ2 (75–80)	72,0	6,3	14,5	0,1	1,0	1,8	0,1	1,2	2,7	30,6	8,5	6,6	2,0	0,9
ВТ2 (80–90)	72,6	5,3	15,3	0,1	0,7	1,9	0,1	1,4	2,6	36,5	8,0	6,6	1,7	0,9
ВТ2 (93–100)	72,0	6,3	13,7	0,1	1,1	1,8	0,1	1,6	2,8	30,5	8,9	6,9	2,0	0,9
ВС (120–130)	71,6	6,3	14,5	0,1	1,1	1,9	0,1	1,3	2,7	30,1	8,4	6,6	2,0	0,9
Разрез Тр.4, пк 0 Дерново-подзолистая глееватая***														
АТ (1,5–3)	70,4	4,9	16,4	0,8	0,7	1,0	0,8	1,3	3,6	39,1	7,3	6,1	1,6	0,9
ЕLg (5–10)	79,4	3,4	10,2	0,2	0,7	0,9	0,1	2,0	2,9	61,6	13,2	10,9	1,1	1,0
ЕLg (11–16)	79,9	3,1	9,7	0,2	0,8	0,9	0,1	2,1	3,1	70,1	14,0	11,7	1,0	1,0
ЕL (17–22)	79,1	3,1	10,2	0,2	0,8	0,9	0,1	2,3	3,2	69,4	13,2	11,1	1,0	1,0
ЕLBT (17–30)	77,2	3,8	11,3	0,2	0,9	1,2	0,1	2,1	3,1	53,6	11,6	9,5	1,2	1,0
ЕLBTg (35–40)	74,9	4,9	12,4	0,2	0,8	1,5	0,1	1,9	3,1	40,3	10,3	8,2	1,6	0,9
ВТg (45–50)	74,4	4,8	13,8	0,3	0,9	1,5	0,05	1,4	2,6	41,3	9,2	7,5	1,5	0,9
ВТ (51–56)	72,9	5,4	13,9	0,3	1,0	1,8	0,1	1,5	2,9	35,8	8,9	7,2	1,7	0,9
ВТg (60–65)	71,7	6,1	14,5	0,3	1,0	1,8	0,1	1,4	3,0	31,4	8,4	6,6	2,0	0,9
ВТg (70–75)	72,0	5,9	14,1	0,3	1,0	1,7	0,1	1,4	3,0	32,4	8,7	6,9	1,9	0,9
ВТg (80–85)	71,3	6,0	14,5	0,3	1,0	1,7	0,1	1,7	3,1	32,1	8,3	6,6	1,9	0,9
ВТ (90–95)	72,2	5,8	14,2	0,3	1,0	1,8	0,1	1,4	3,0	33,4	8,7	6,9	1,9	0,9
ВТ (100–105)	72,0	5,8	14,2	0,3	1,1	1,8	0,1	1,4	3,0	32,9	8,6	6,8	1,9	0,9
ВС (120–125)	71,7	6,1	14,3	0,3	1,1	1,9	0,1	1,4	3,0	31,4	8,5	6,7	2,0	0,9
Сg (130–135)	71,9	6,0	14,5	0,28	0,9	1,9	0,1	1,3	3,0	32,4	8,4	6,7	1,9	0,9

Горизонт (глубина, см)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Молекулярные отношения			КД**	
	%									SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Разрез Тр, 3, пк 42 Дерново-подзолисто-глеевая***														
AUg (5–11)	71,5	5,8	15,7	0,6	0,8	1,4	0,1	0,9	2,7	32,7	7,8	6,3	1,4	0,9
ELg (11–20)	75,8	4,8	13,0	0,4	0,7	1,1	1,0	1,1	2,6	42,0	9,9	8,0	1,1	1,0
ELg (20–24)	78,5	4,8	10,3	0,2	0,8	1,0	0,2	1,3	2,6	43,9	12,9	10,0	1,1	1,0
ELg (25–32)	78,7	4,2	10,3	0,2	0,8	1,1	0,2	1,4	2,9	50,2	12,9	10,3	1,0	1,0
ELBTg (39–40)	75,3	5,2	12,6	0,1	0,8	1,5	0,1	1,2	2,9	38,3	10,2	8,0	1,2	1,0
BT (53–60)	73,7	5,6	13,9	0,1	0,9	1,7	0,1	1,1	2,5	35,2	9,0	7,2	1,3	0,9
BTg (71–78)	75,3	4,8	14,1	0,1	0,8	1,4	0,1	0,9	2,0	41,6	9,1	7,4	1,1	1,0
BTg (98–105)	73,2	6,0	13,4	0,1	1,1	1,7	0,1	1,2	2,8	32,6	9,3	7,2	1,4	0,9
Cg (136–143)	73,1	5,9	13,8	0,1	1,1	1,7	0,1	1,5	2,8	32,9	9,0	7,1	1,4	0,9

*по: Канев, 2002;

** здесь и далее: КД – коэффициент профильной дифференциации (отношение содержания оксидов железа (Fe₂O₃) или оксида кремния (SiO₂) в соответствующем горизонте к таковому в горизонте EL);

*** названия почв приведены в авторской редакции, соответствуют дерново-подзолистой типичной, дерново-подзолистой поверхностно-глееватой и дерново-подзолистой глееватой мелкоотторфованной.

Исследуемые нами дерново-подзолистые текстурно-дифференцированные почвы формируются на крупнопылеватых средних суглинках, подстилаемых пылеватыми тяжелыми карбонатными суглинками (рисунок 5; приложение Б, таблица 1). Характерной чертой рассмотренных почв является четкая дифференциация профиля по гранулометрическому и валовому химическому составу (таблица 6). В дерново-подзолистой типичной почве коэффициент профильной дифференциации (КД) илистых частиц, рассчитанный как отношение содержания фракции ила ($<0,001$ мм) в соответствующем горизонте к таковому в горизонте EL (приложение Б, таблица 1), составляет 4,1–4,3. Слабая дифференциация профиля дерново-подзолистой мелкоторфянистой глееватой почве ложбины по содержанию илистых фракций (КД ила 1,8–2,2), возможно, обусловлена латеральным привносом илистых частиц с повышенных элементов рельефа (Канев, 2002). Четкая дифференциация профиля полугидроморфных почв выявляется и при рассмотрении валового распределения в нем кремнезема и полуторных оксидов (таблица 6).

В.В. Каневым (2002) отмечено влияние многолетних циклов промерзания-оттаивания на гранулометрический состав почв ключевого участка КУ-I, в результате которого происходит накопление в верхнем 30–40 см слое почв крупной пыли за счет дезинтеграции более крупных первичных минералов и коагуляции глинистых минералов исходной породы. По данным температурных наблюдений, выполненных в период с 1987 по 1989 гг. (Канев, 2002), в зимний период на данном участке наиболее глубокое и продолжительное промерзание почв (до 55 см в течение 100–128 дней) зафиксировано в автоморфных условиях. В полугидроморфных условиях отрицательные температуры фиксировали на глубине 30–40 см от поверхности почвы. Они сохранялись в течение 100–115 дней. В отдельные годы промерзание здесь могло вообще отсутствовать. Автором было показано, что глубина и продолжительность промерзания почв главным образом зависит от высоты снежного покрова. В ложбине увала он имеет

большую мощность (до 79 см) по сравнению с вершиной (40–47 см) (Канев, 2002). Не исключено, что в настоящее время, в условиях происходящих глобальных климатических изменений (IPCC, Climate Change..., 2014) глубина промерзания исследуемых дерново-подзолистых почв могла несколько уменьшиться.

Физико-химические свойства дерново-подзолистых почв представлены в Приложении В (таблица 1). Все они достаточно кислые (рисунок 6), величина кислотности определяется ландшафтной позицией и характером растительности. В профиле почвы Л-2, формирующейся в автоморфных условиях, наиболее кислые (рН KCl 3,5–3,8 ед. рН) – серогумусовый АУ и подзолистый ЕL горизонты. Это обусловлено активным поступлением из подстилки органических соединений кислой природы, в том числе ненасыщенных низкомолекулярных органических кислот (Шамрикова, 2013).

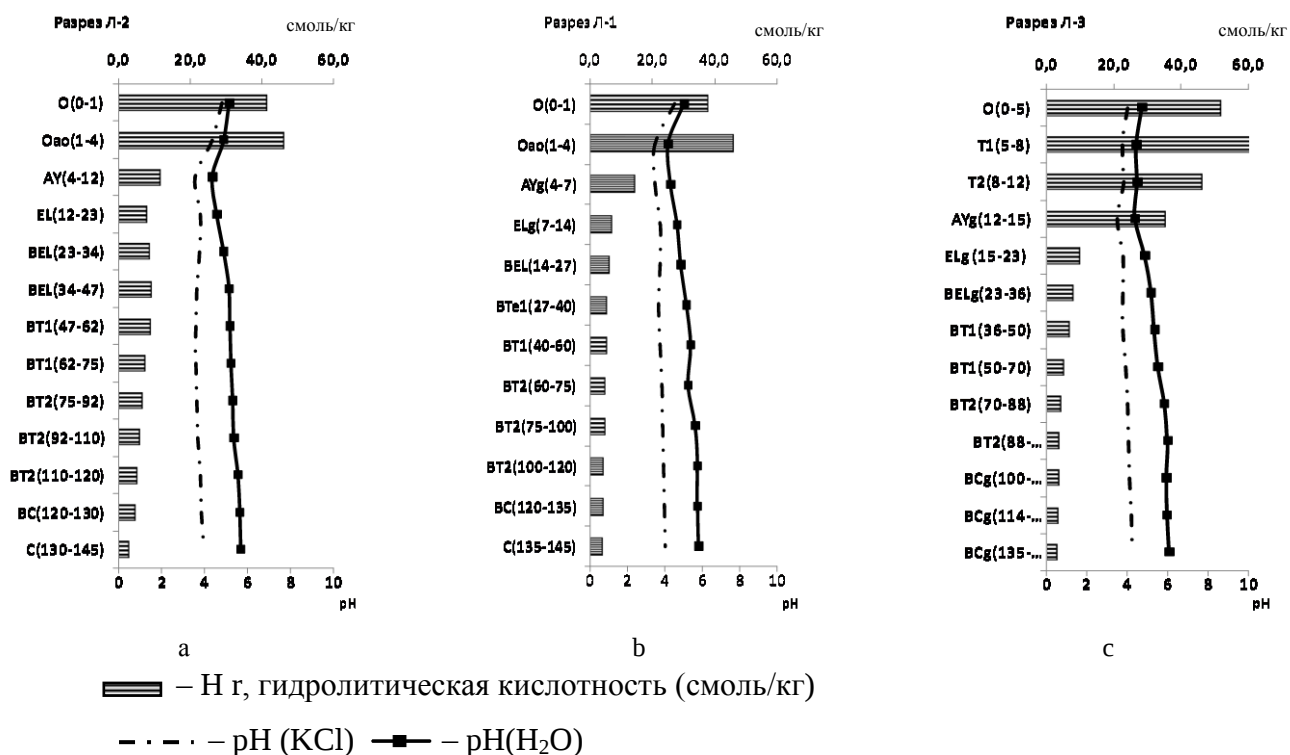


Рисунок 6 – Профильное изменение величины гидролитической кислотности (Hr), значений рН водной и KCl вытяжек в почвах южной тайги (Участок КУ-І). Под буквами а, б, с те же почвы, что на рисунке 4

В органогенном горизонте (О) эти соединения частично

нейтрализуются зольными элементами при разложении травянистой растительности, поэтому кислотность здесь несколько ниже (рН КСl 4,3–4,8 ед. рН). По мере усиления гидроморфности почв кислотность в горизонтах АО и АУ увеличивается, составляя 3,7–4,0 ед. рН солевой вытяжки (почва Л-3). Это обусловлено уменьшением доли травянистой растительности в напочвенном покрове и соответственно более интенсивным поступлением в минеральную часть почвы подвижных гумусовых веществ фульватной природы (Кононова, 1963). Вниз по профилю всех почв кислотность несколько снижается (рН КСl 4,3–4,8 ед. рН), что обусловлено постепенным увеличением насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями (рисунок 7).

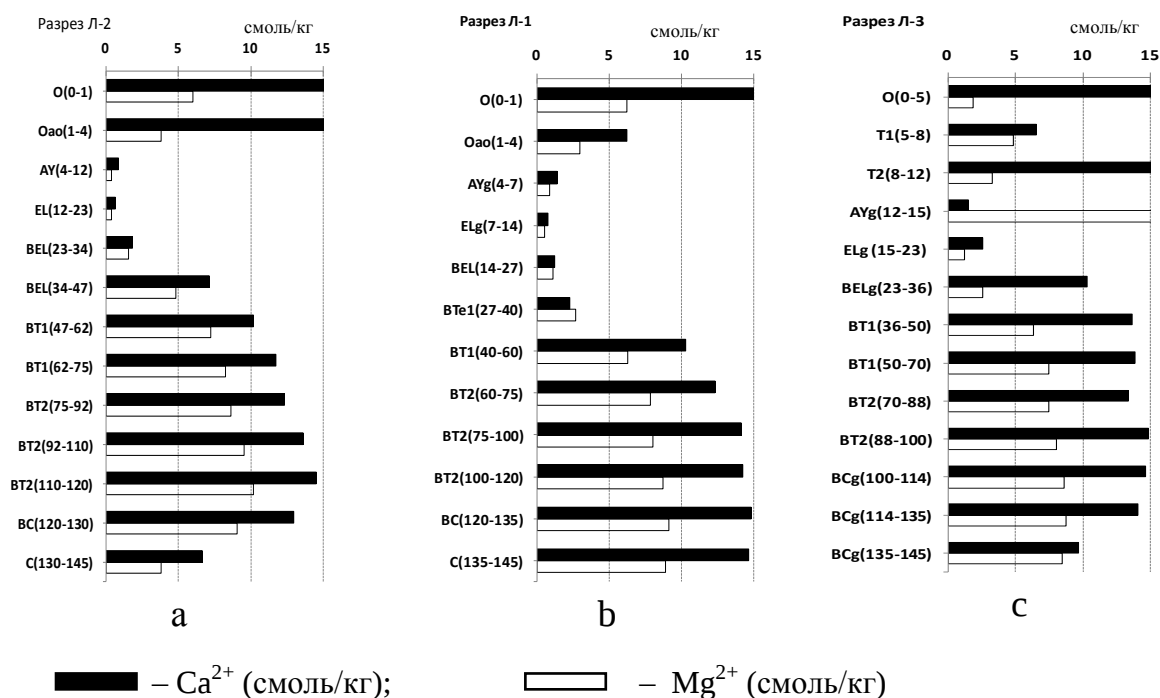


Рисунок 7 – Профильное распределение обменных Ca²⁺ и Mg²⁺ в почвах южной тайги (КУ-I). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 4

В органогенных горизонтах содержание общего углерода в пределах 35–45 % (рисунок 8). В полугидроморфных условиях, благодаря низкой скорости разложения растительного опада, в подстилке аккумулируется преимущественно грубый гумус.

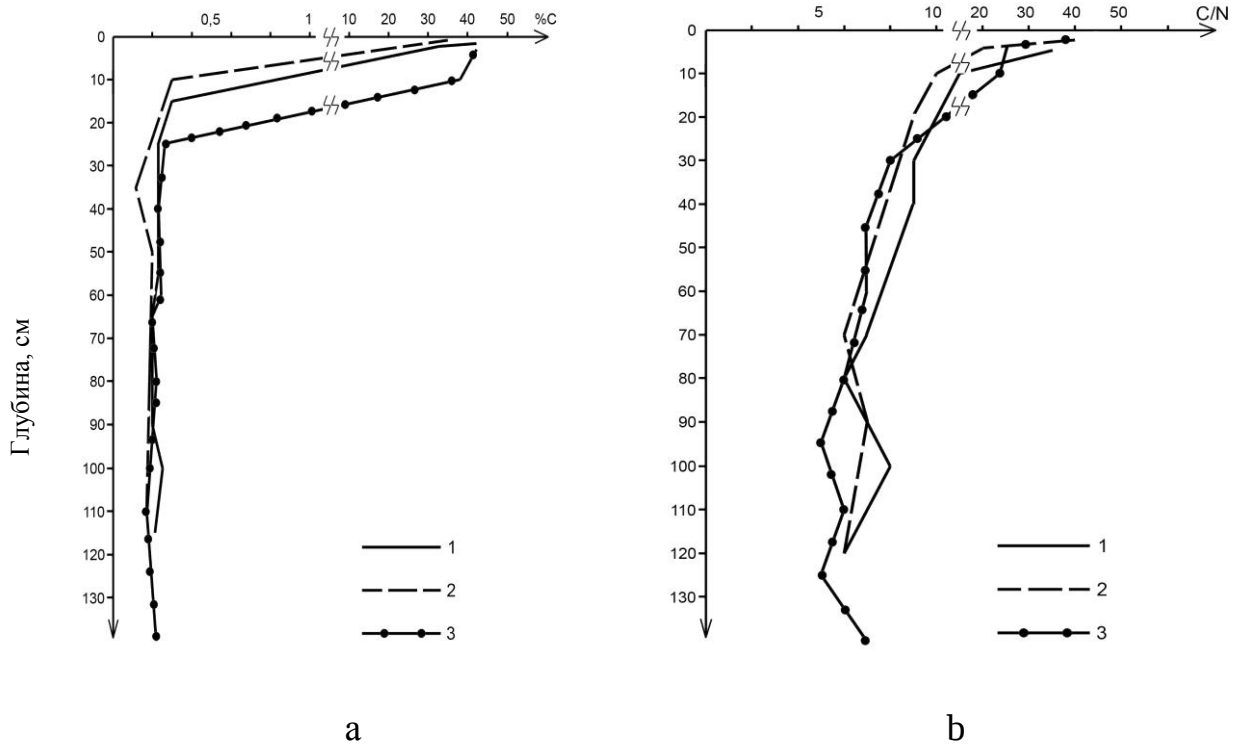


Рисунок 8 – Профильное изменение содержания общего углерода С (а) и величины отношения С/Н (б) в дерново-подзолистых текстурно-дифференцированных почвах южной тайги: 1 – типичная; 2 – поверхностно-глееватая; 3 –глееватая мелкоторфянистая

При переходе к минеральной части профиля содержание органических веществ резко снижается до 1 % и менее, оставаясь на довольно высоком уровне (до 9 %) только в серо-гумусовом горизонте АУ дерново-подзолистой мелкоторфянистой глееватой почвы (разрез Л-3). Вниз по профилю содержание Собщ. резко снижается до 0,2–0,3 %. Гумус гуматно-фульватного типа с присутствием в его составе доли фракций ГК и ФК, связанных с кальцием. Их максимальное содержание отмечено в наиболее увлажненной дерново-подзолистой мелкоторфянистой глееватой почве Л-3 (Канев, 2002). Подзолистый процесс прослеживается в выщелоченности биогенных элементов и обменных оснований из верхних минеральных горизонтов (рисунок 7). В нижней части профиля всех почв содержание обменных оснований существенно возрастает. Основная часть ненасыщенных высоко- и низкомолекулярных органических кислот, поступающих из подстилки, осаждается ниже по профилю в форме алюмо- и

железо-гумусовых соединений. Это диагностируется по максимальному содержанию оксалат- и дитионитрастворимых соединений железа (рисунок 9). В автоморфных условиях накопление этих соединений происходит в основном в верхней части профиля почв – в серо-гумусовом горизонте АУ. В полугидроморфных почвах содержание альфегумусовых соединений более вариативно в разных горизонтах профиля, что сопряжено с длительным переувлажнением и более интенсивным проявлением здесь поверхностного оглеения. Процессы оглеения с переводом железа в растворимое состояние наиболее интенсивно протекают в весенне-осенний период, летом происходит миграция подвижных форм соединений железа в составе почвенно-грунтовых вод вниз по профилю почв.

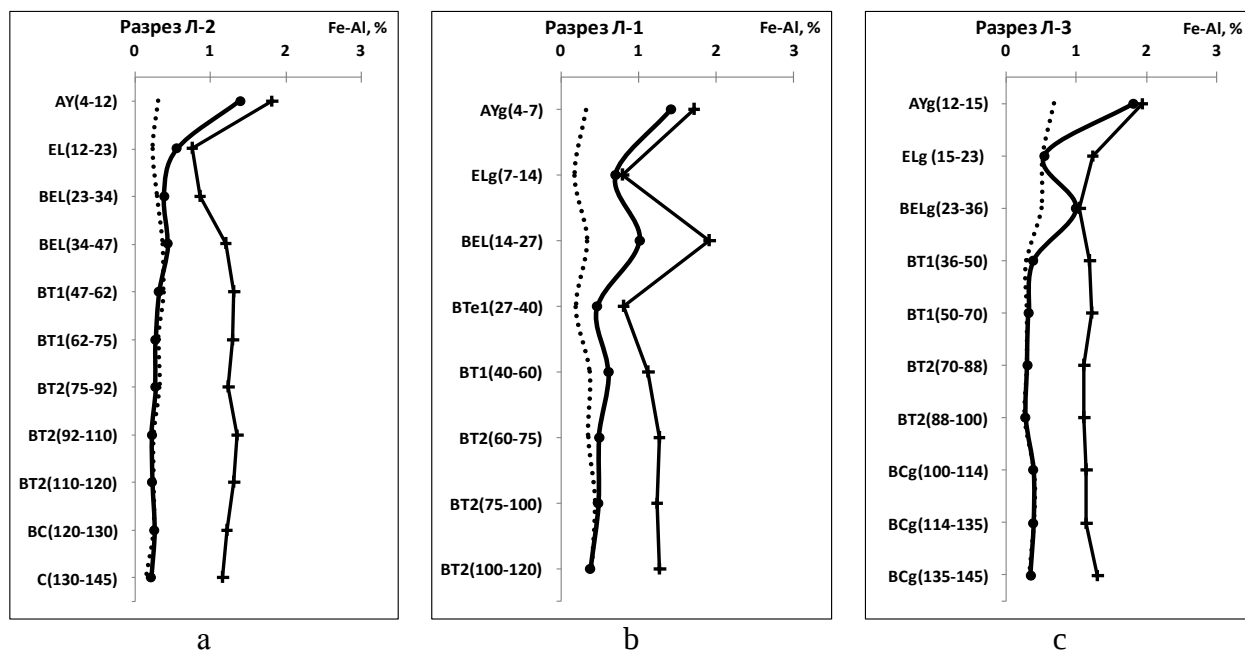


Рисунок 9 – Распределение оксалатрастворимых форм соединений железа и алюминия (по Тамму) и дитионитрастворимых форм железа (по Джексону) в профиле почв южной тайги (КУ-І). Под буквами а, б, с обозначены те же почвы, что на рисунке 4

По данным В.В. Канева (2002), количество дней с избыточным увлажнением ($>\text{ППВ}$) в слое 0–20 см за май-сентябрь в глеевой почве ложбины составляет 44–146 дней, в слабоглееватой почве склона 31–128

дней, в неоглееной почве вершины увала до 13–58 дней. Увеличение влажности почв в нижней части увала происходит главным образом за счет латерального стока влаги с вершины увала при слабом вертикальным, вследствие формирования плотного водоупора в средней иллювиальной части профиля почв. Водопроницаемость верхней части исследуемых почв (О, ЕL горизонты) составляет 16,8–0,16 м/сут, в нижней части (ВТ горизонты) снижается до 0,034–0,084 м/сут. Отмечены некоторые изменения физических свойств дерново-подзолистых почв при усилении гидроморфизма. Повышение влажности почв способствует снижению плотности твердой фазы органогенного и элювиального горизонтов, увеличению порозности элювиальной и иллювиальной текстурной толщи, а так же ухудшению агрегатного состояния элювиального горизонта, вследствие растворения в процессе оглеения железистых пленок с поверхности микроагрегатов (Канев, 2002).

4.1.2 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв средней тайги

Ключевой участок КУ-II, расположенный в подзоне средней тайги, представлен аналогично участку в южной тайге текстурно-дифференцированными почвами, образующими естественный ряд по уровню возрастания в них поверхностного увлажнения (рисунок 10). Согласно принципам классификации почв России (Классификация..., 2004; Полевой..., 2008), почва, формирующаяся в наиболее дренируемых автоморфных условиях, диагностирована нами как подзолистая с микропрофилем подзола текстурно-дифференцированная (Р-1-П). Почвы, представленные в менее дренируемых условиях пологого склона и в понижении диагностированы как торфяно-подзолисто-глеевые текстурно-дифференцированные с разделением на виды по мощности оторфованного органогенного горизонта: мелкоторфянистую (Р-8-Х) и торфянистую (Р-3-П).

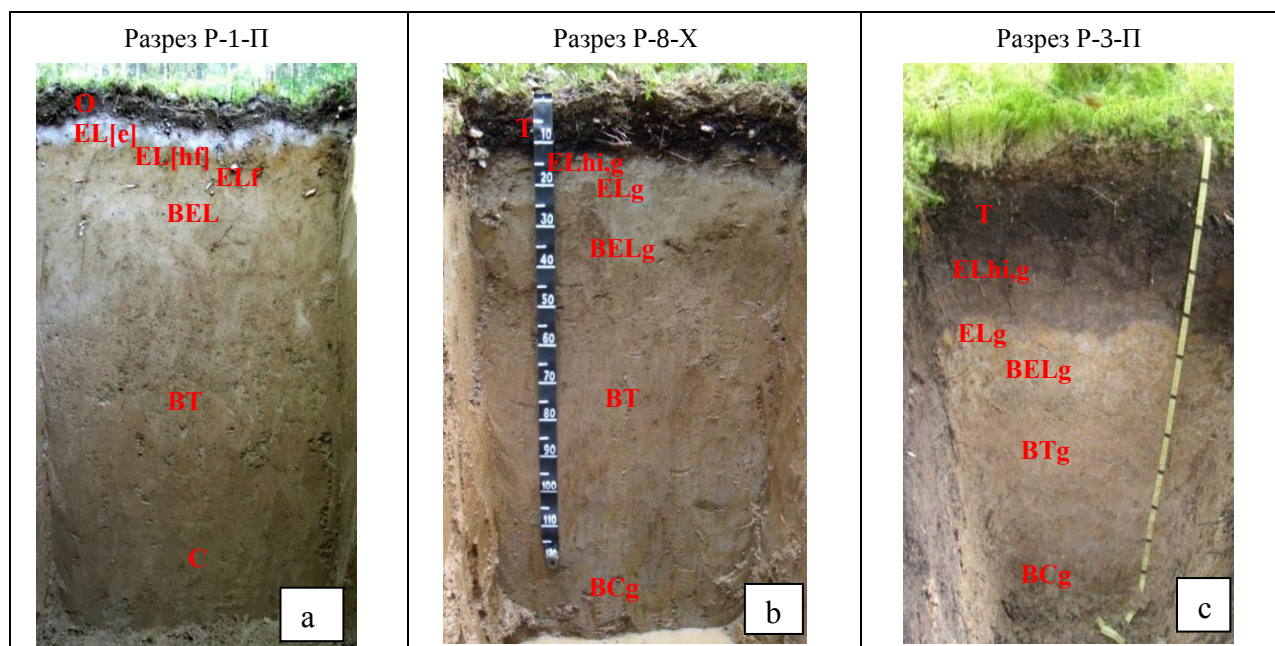


Рисунок 10 – Морфологическое строение текстурно-дифференцированных почв средней тайги (Участок КУ-II): а – подзолистая с микропрофилем подзола; б – торфяно-подзолисто-глеевая мелкоторфянистая; с – торфяно-подзолисто-глеевая торфянистая

Описание морфологического строения и физико-химических свойств исследуемых подзолистых текстурно-дифференцированных почв представлено в приложениях А (таблица 2), Б (таблица 2) и В (таблица 2). Характеристика подзолистых почв средней тайги Республики Коми, в том числе почв данного ключевого участка (КУ-II), детально освещена в ранее опубликованных работах (Забоева, 1975; Русанова и др., 1978; Кононенко, 1986; Забоева, 1989; Втюрин, 1991; Козачок, 1997; Структурно-функциональная..., 2001; Канев, 2002; Путеводитель..., 2002; Лодыгин и др., 2007; Мокиев, 2009; Атлас почв..., 2010; Шамрикова, 2013).

Почвы участка КУ-II формируются под пологом ельников чернично-зеленомошных III класса бонитета с примесью березы, осины, пихты (возраст 110–130 лет), а так же рябины – в подлеске. Полнота древостоя 0,6–0,7. В кустарниковом ярусе присутствует шиповник, в кустарничковом – черника, костяника, брусника, линнея северная. В напочвенном покрове вершины увала преобладают зеленые мхи, местами политрихум. По мере нарастания влажности в напочвенном покрове доминирующие позиции переходят к

видам мхов из родов *Sphadnum* и *Polytrichum*.

В связи с тем, что все рассмотренные нами почвы формируются в верхней части пологого водораздельного увала, увеличение гидроморфизма почв обусловлено как латеральным распределением влаги с более высоких позиций ландшафта (выпуклых микроповышений) в более низкие (понижения, лощины), так и выклиниванием почвенно-грунтовых вод или верховодки (Структурно-функциональная..., 2001). Автоморфные почвы, занимающие микроповышения, развиваются под влиянием промывного водного режима с кратковременным избыточным переувлажнением в весенне-осенний период. Запасы влаги в верхнем 30-ти сантиметровом слое автоморфной подзолистой почвы колеблются от влажности завядания (ВЗ) до наименьшей (НВ) и полной (ПВ) влагоемкости, в глубоких горизонтах не превышают НВ. В депрессиях водный режим меняется на застойно-промывной. В этих почвах верховодка во влажные годы исчезает лишь на короткий срок, а влажность нижних горизонтов постоянно находится в интервале НВ-ПВ. Избыточное увлажнение обуславливает сложное сочетание процессов торфо-, глее- и подзолообразования. Интенсивность подзолистого и элювиального процессов при застойном характере увлажнения значительно снижается (Структурно-функциональная..., 2001).

Характерной диагностической особенностью морфологического строения исследованных нами подзолистых текстурно-дифференцированных почв участка КУ-II (приложение А, таблица 2), аналогично южнотаежным почвам, является сочетание элювиального горизонта (ЕL) с текстурным (ВТ). Текстуальный горизонт ВТ в срединной части профиля почв выделяется хорошо выраженной четкой призматической структурой с белесой присыпкой (скелетаны) и глинистыми натеками (кутаны) по граням агрегатов. К специфической особенности морфологического строения автоморфных почв следует отнести формирование вложенного микропрофиля подзола – EL[e] (5–10 см) и EL[hf] (10–15 см) – в верхней части профиля, что характерно для профиля среднетаежных подзолистых почв, занимающих

наиболее хорошо дренированные позиции в рельефе (Структурно-функциональная..., 2001; Канев, 2002; Путеводитель..., 2002). С повышением влажности почв Al-Fe-гумусовый барьер исчезает и горизонт EL[hf] не образуется.

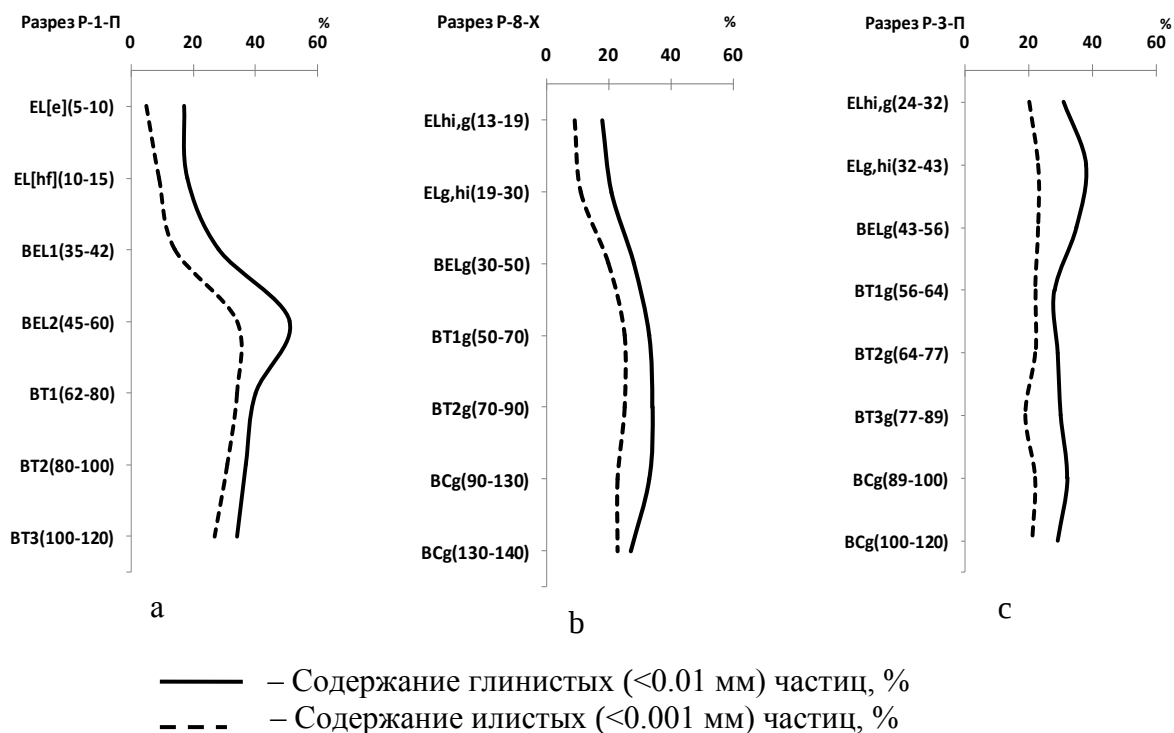


Рисунок 11 – Распределение фракций физической глины и ила в профиле почв средней тайги (КУ-II). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 10

По мере нарастания влажности (разрезы Р-8-X, Р-3-П) увеличивается мощность подстильно-торфяного горизонта до 30 см с его четкой стратификацией на 2–3 слоя. Более выраженными становятся признаки оглеения в виде сизых и ржавых пятен в минеральной части профиля, а также увеличения обилия железисто-марганцевых конкреций в элювиальном горизонте. В профиле полугидроморфных почв под подстильно-торфяным горизонтом формируется специфичный иллювиально-гумусовый горизонт ELhi,g с высоким содержанием грубого гумуса (приложение В, таблица 2). Текстурно-дифференцированные почвы ключевого участка КУ-II формируются на крупно-пылеватых средних суглинках, подстилаемых пылеватыми тяжелыми карбонатными суглинками (рисунок 11; приложение Б, таблица 2).

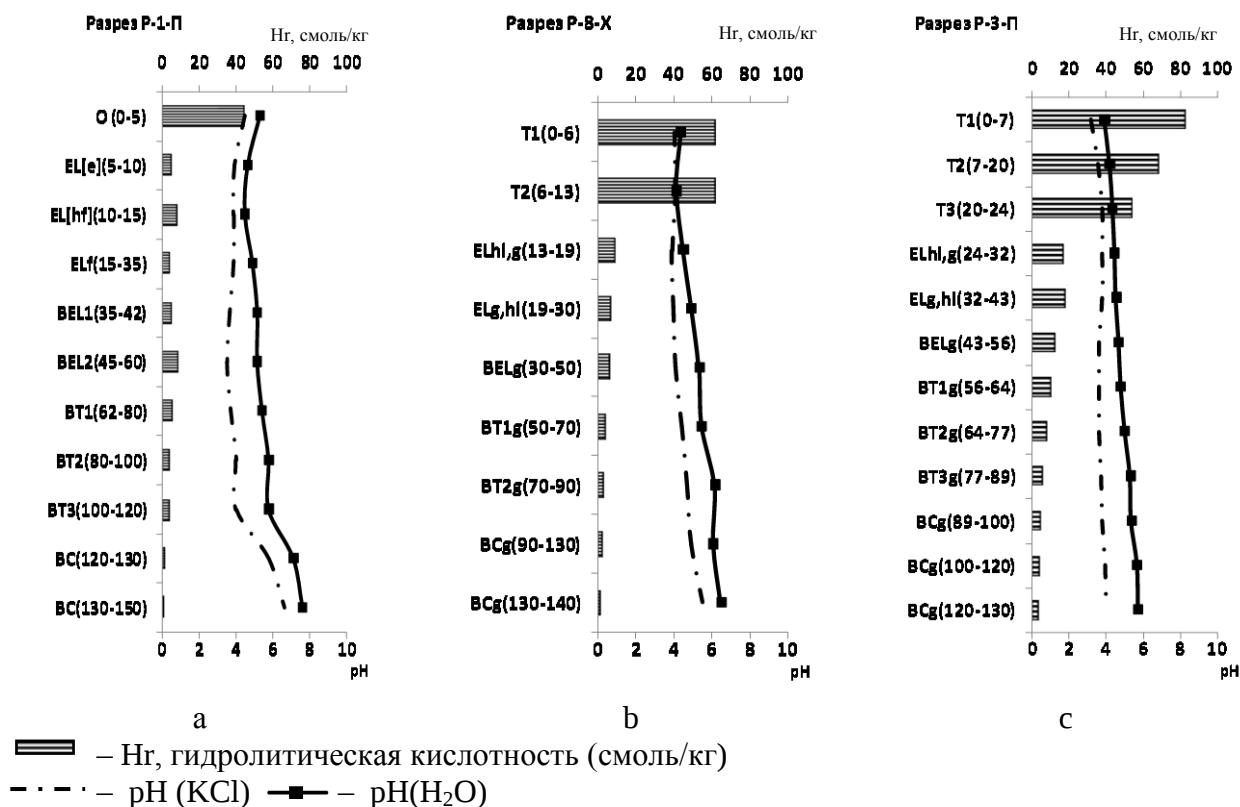
Таблица 7 – Валовой химический состав почв средней тайги (Ключевой участок КУ-II)

Горизонт * (глубина, см)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Молекулярные отношения			КД	
	%									SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Разрез В10-94 Подзолистая почва**														
A2.1(5–10)	85,5	1,1	7,8	0	0,7	0,3	–	1,6	2,1	26,5	18,6	17,1	1,0	1,0
A2Bfh(10–15)	77,1	3,8	12,1	0,1	0,9	1,0	–	1,6	2,4	54,1	10,8	9	3,5	0,9
A2.2(20–35)	78,5	3,4	11,2	0,01	0,9	1,1	–	1,2	2,6	61,4	11,9	10	3,1	0,9
A2B1(35–42)	79,0	3,3	11,1	0,1	1,0	1,1	–	1	2,6	63,9	12,1	9,3	3,0	0,9
A2B2(45–60)	76,4	4,1	13,4	0,1	0,8	1,1	–	1,2	2,1	49,7	9,7	8,1	3,7	0,9
B1(62–80)	71,5	6,2	13,8	0,1	1,3	1,6	–	1,6	2,9	30,8	8,8	6,8	5,6	0,8
B2(80–100)	71,1	6,1	14,2	0,1	1,6	1,8	–	1,3	2,6	31,1	8,5	6,7	5,5	0,8
B3(100–120)	72,9	5,3	13,2	0,1	1,6	1,8	–	1,3	2,8	36,7	9,4	7,5	4,8	0,9
Разрез Р-8-Х Торфяно-подзолисто-глеевая мелкторфянистая текстурно-дифференцированная														
Elhi,g(13–19)	79,2	3,8	10,7	0,1	1,0	0,4	–	–	2,2	55,1	12,5	10,2	1,0	1,0
Elg(19–30)	78,0	4,0	11,4	0,1	1,0	0,6	–	–	2,2	52,2	11,6	9,5	1,1	1,0
BELg(30–50)	74,6	4,8	12,6	0,1	1,4	0,8	–	–	2,2	41,2	10,1	8,1	1,3	0,9
BT1g(50–70)	71,8	5,4	14,9	0,2	1,1	1,2	–	–	2,2	35,4	8,2	6,6	1,4	0,9
BT2g(70–90)	73,0	5,2	14,0	0,2	1,2	1,2	–	–	2,2	37,6	8,9	7,2	1,3	0,9
BCg(90–130)	73,4	5,1	13,6	0,2	1,2	1,2	–	–	2,3	38,2	9,2	7,4	1,3	0,9

* индексация горизонтов приведена в авторской редакции.

** по: Структурно-функциональная..., 2001 г.

«–» – не определяли.



основаниями значительно увеличивается в связи с карбонатностью подстилающей породы, однако, в связи с промывным водным режимом наличие карбонатов не влияет на современный почвообразующий процесс (Забоева, 1975; Структурно-функциональная..., 2001).

Почвы малогумусны, аккумуляция органического вещества происходит в подстилично-торфяных горизонтах благодаря низкой скорости разложения растительных остатков. В направлении от подзолистой к торфяно-подзолисто-глеевой торфянистой почве возрастает содержание Собщ. в верхней минеральной части почвенного профиля за счет усиления потечности гумусовых веществ в более гидроморфных условиях и присутствия здесь слаборазложенных растительных остатков (рисунок 14).

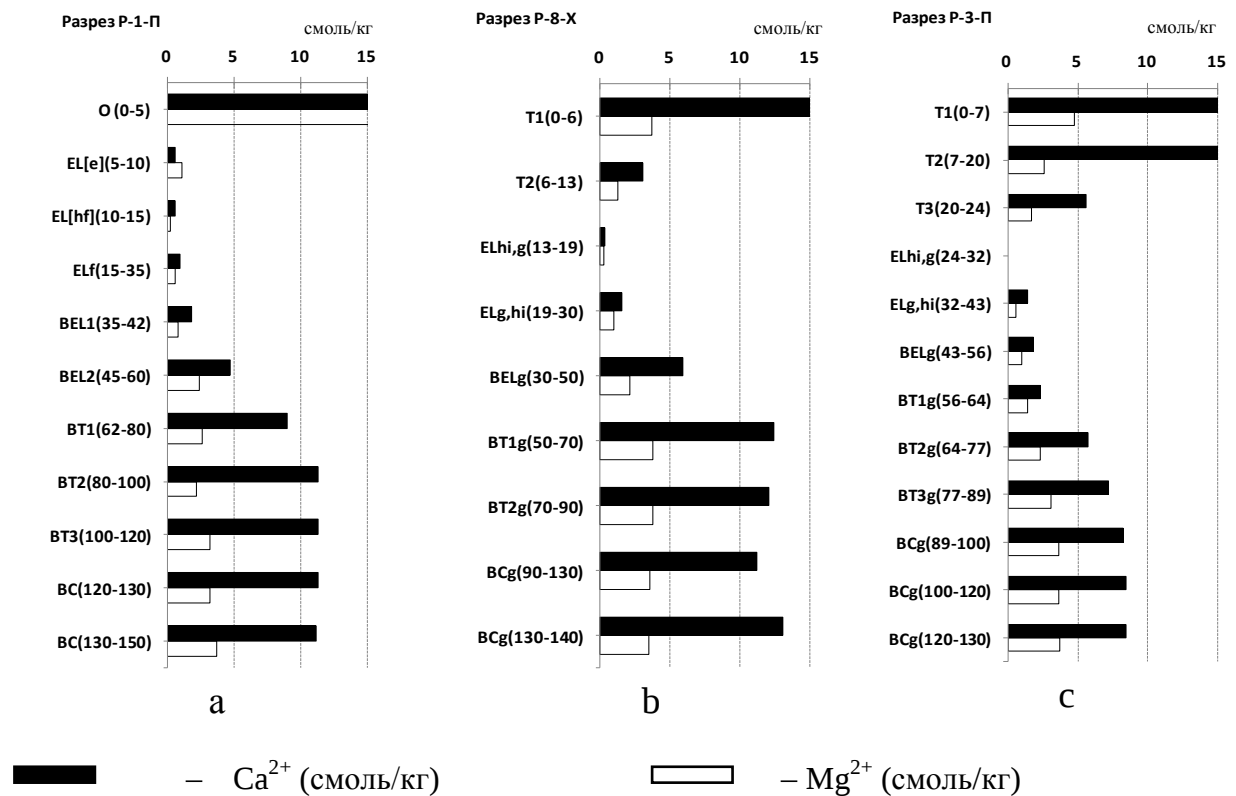


Рисунок 13 – Распределение обменных Ca²⁺ и Mg²⁺ в профиле почв средней тайги (Участок КУ-II). Под буквами а, б, с те же почвы, что на рисунке 10

Почвенное органическое вещество характеризуется преобладанием фульватного типа гумуса при отсутствии доли фракций, связанных с кальцием (Структурно-функциональная..., 2001). Гуминовые кислоты несут

упрощенный характер и представлены гуминоподобными соединениями (темноокрашенными пигментами микромицетов). Гумусовые вещества отличаются агрессивностью по отношению к минералам и подвижностью в профиле (Слобода, 1968; Арчегова, 1974; Забоева, 1975; Лодыгин и др., 2007; 2016; Лодыгин, 2016).

Гумус торфяных почв, формирующихся в наиболее влажных условиях, характеризуется высокой степенью гидролизуемости, меньшей прочностью связи с минеральной частью почв, повышенным содержанием в составе гумусовых веществ агрессивной фракции ФК-1а (Козачок, 1997). Высокое содержание в фульвокислотах карбоксильных групп (до 21 %) обуславливает способность образовывать комплексные соединения с катионами железа, алюминия и других металлов, переводя их в растворимое состояние (Путеводитель..., 2002; Лодыгин и др., 2007).

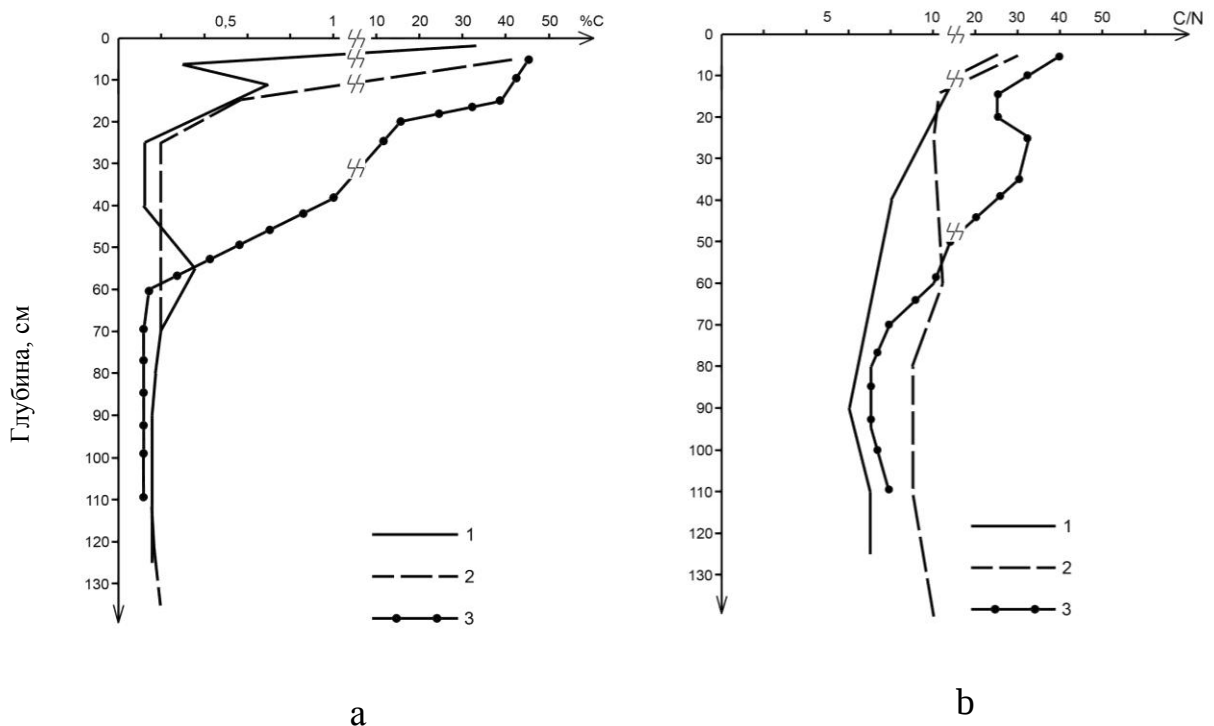


Рисунок 14 – Профильное изменение содержания общего органического углерода (а) и величины отношения C/N (b) в текстурно-дифференцированных почвах средней тайги: 1 – подзолистая с микропрофилем подзола; 2 – торфяно-подзолисто-глеевая мелкоторфянистая; 3 – торфяно-подзолисто-глеевая торфянистая

Как следствие, образующиеся при разложении лесной подстилки различные высоко- и низкомолекулярные органические кислоты, просачиваясь в минеральную толщу почвы, активно взаимодействуют с железосодержащими минералами, с формированием алюмо- и железогумусовых соединений (рисунок 15).

Как показали исследования Ф.Р. Зайдельмана (Зайдельман, 2017), в полугидроморфных условиях при более активном и длительном протекании процессов оглеения происходит растворение и смыв оксидных и гидроксидных пленок с поверхности первичных и вторичных минералов, что способствует разрушению этих минералов и еще более интенсивному извлечению железа. С этим согласуются исследования В.В. Канева (1996), в которых отмечено ухудшение структурного состояния подзолистых почв средней тайги в условиях избыточного увлажнения в результате удаления защитных железистых пленок с поверхности мелко-комковатых агрегатов, способствуя тем самым их диспергированию. В то же время объемные изменения почвенной массы в результате увлажнения–высушивания, замерзания–оттаивания, а также деятельности корней служит механизмом агрегации почв, предохраняющим их от абсолютной дезагрегации (Канев, 2002). Проведенные ранее почвенно-температурные наблюдения показали, что отрицательные температуры в почвах данного ключевого участка сохраняются в течение 6–7 месяцев (Структурно-функциональная..., 2001; Мокиев, 2009). Наиболее сильно промерзает только подстилка и подзолистый горизонт – до минус 2–4 °С. Нулевые температуры проникают до глубины 85 см, однако, как отмечает В.В. Мокиев (2009), глубина промерзания не всегда совпадает с глубиной перехода температуры через 0 °С, в связи с замерзанием почвенного раствора при температуре ниже 0 °С. Многолетние наблюдения показали, что промерзание подзолистых почв в данном районе достигает 40 см от поверхности почвы в автоморфных условиях и до 24 см в полугидроморфных (Мокиев, 2009).

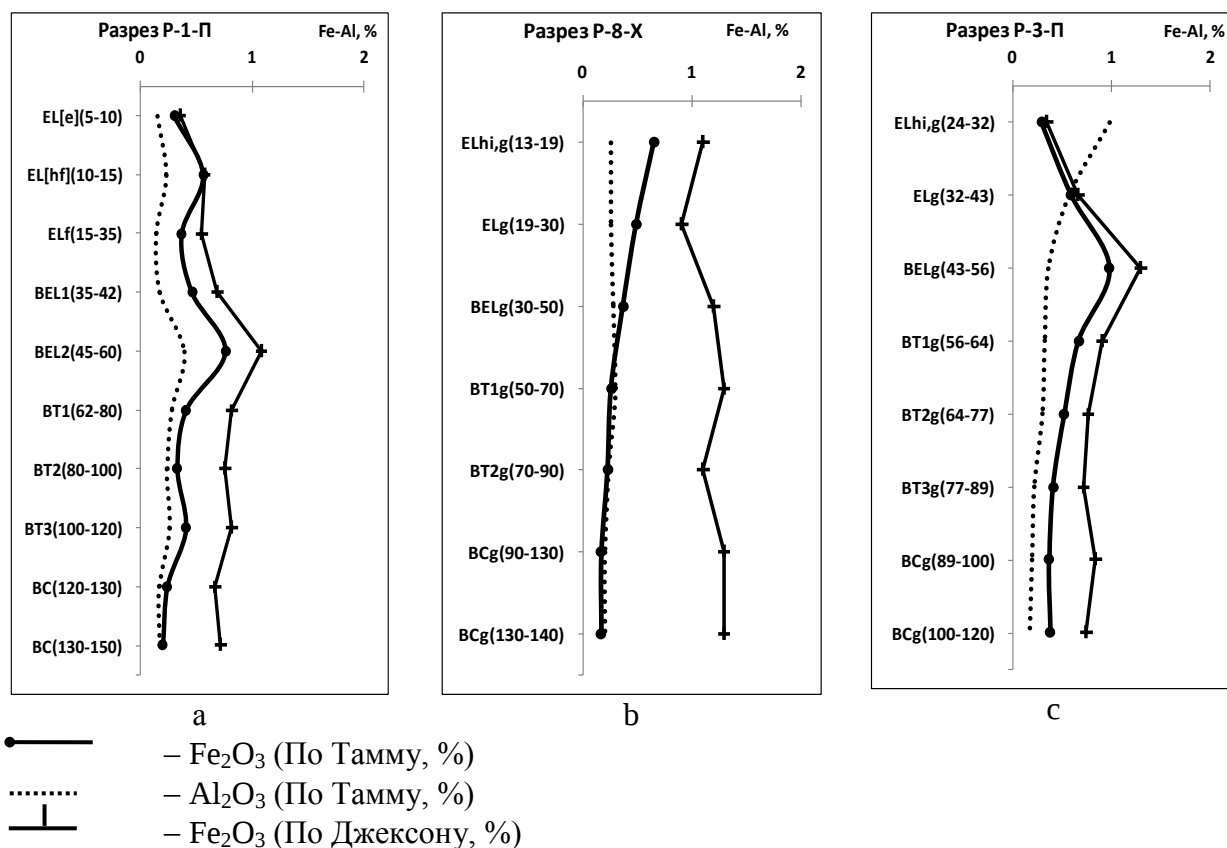


Рисунок 15 – Распределение оксалатрастворимых форм железа и алюминия (по Тамму) и дитионитрастворимых форм железа (по Джексону) в профиле почв средней тайги (Участок КУ-II). Под буквами а, б, с те же почвы, что на рисунке 10

Летом период активных температур выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в подзолистой почве на глубине 20 см обычно длится около месяца (20–40 дней), мощность зоны активных температур чаще всего варьирует в пределах 40–55 см (Структурно-функциональная..., 2001).

4.1.3 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв северной тайги

В морфологическом строении почв ключевого участка КУ-III, выделенном в подзоне северной тайги, выявлены некоторые особенности, которые не позволяют с учетом принципов диагностики и классификации почв России (Классификация..., 2004; Полевой..., 2008) отнести их к отделу текстурно-дифференцированных почв ствола постлитогенных почв. Как показали исследования последних лет (Пастухов, 2008; Тонконогов, 2009, 2010; Жангуров и др., 2011), на подзональные особенности таежных почв

может накладывать определенный отпечаток специфика распространения водно-ледниковых отложений пылевато-суглинистого гранулометрического состава. В условиях Севера на таких почвообразующих породах формируются почвы, в профиле которых отсутствуют признаки текстурной дифференциации, что также подтверждается морфологическими описаниями исследованных нами почв, вскрытых почвенными разрезами на участке КУ-III (приложение А, таблица 3). На рисунке 16 представлено морфологическое строение рассмотренных профилей.

Рассматриваемые почвы формируются под пологом темнохвойных еловых лесов, с примесью кедра и пихты (возраст 100–150 лет). В покрове преобладают кустарнички черники, в напочвенном покрове – политрихум, по мере увеличения степени увлажнения увеличивается доля сфагновых мхов, появляются осоки.

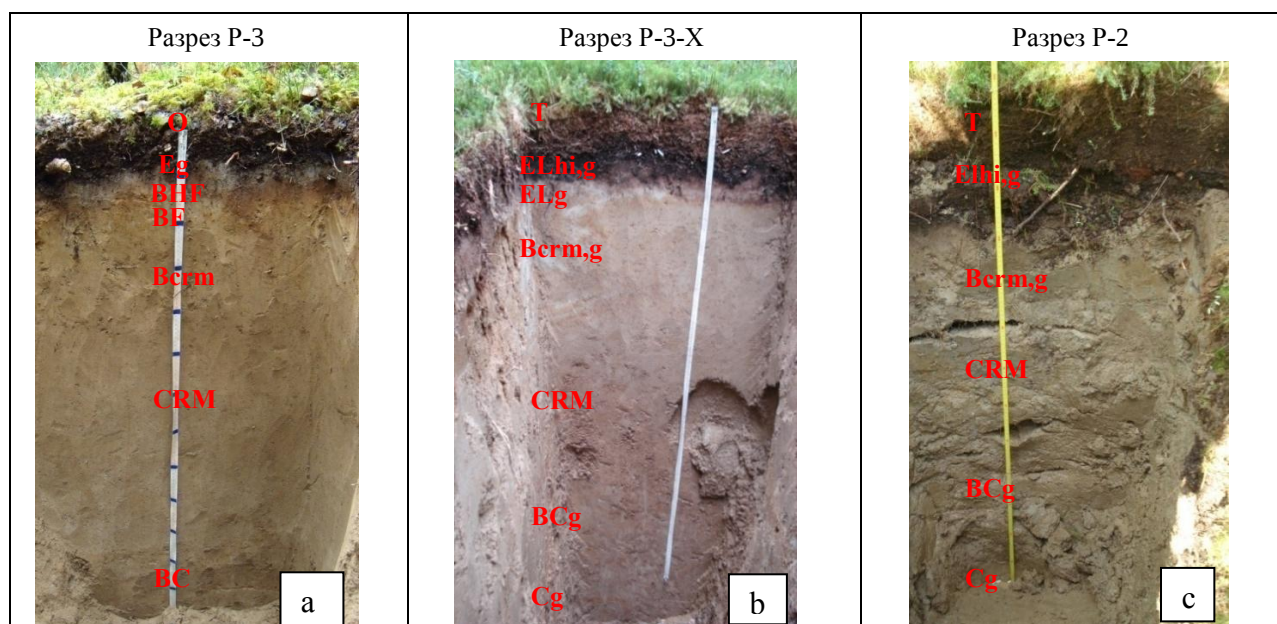


Рисунок 16 – Морфологическое строение светлоземов криометаморфических северной тайги (Участок КУ-III): а – светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый, б – светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый, с – светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый

Основным диагностическим признаком морфологического строения всех исследуемых почв северотаежного ключевого участка КУ-III,

свидетельствующем об ином по сравнению с почвами южной и средней тайги классификационном положении, является наличие в средней части профиля горизонтов с характерной угловато-крупитчатой структурой (криометаморфическое оструктурирование) при отсутствии или слабой выраженности текстурного горизонта ВТ. Формирование такой структуры в профиле почв сопряжено, по всей видимости, с усилением процессов промерзания почв к северу. Роль криогенного фактора в формировании такого типа структуры (CRM) отмечена в работах многих авторов (Конищев, Рогов, 1977; Турсина, 1985; Лепорский и др., 1990; Конищев, Рогов, 2008; Жангуров и др., 2011; Пастухов, 2012; Русанова и др., 2010, 2015). В рассматриваемых нами почвах наиболее ярко CRM-горизонт выражен в автоморфных условиях (разрез Р-3). Он имеет угловато-крупитчатую структуру, мощность горизонта в целом около 100 см. В полугидроморфных почвах (разрезы Р-3-Х, Р-2) мощность профиля с криометаморфическим оструктурированием составляет до 60 см, однако из-за повышенной влажности (верховодка с 50–60 см) четкость и прочность структурных отдельностей горизонта CRM снижается.

В морфологическом строении почвы, занимающей наиболее дренированное положение в рельефе, следует отметить наличие под подстильно-торфяным горизонтом мощностью до 8 см подзолистого Еg и иллювиально-железистых горизонтов ВНf – Вf специфической охристо-ржаво-бурой окраски и мелко-комковато-порошистой структуры. Их формирование обусловлено глее-альфегумусовой миграцией и накоплением органо-минеральных соединений железа (Тонконогов, 2010). Подзолистый горизонт несет признаки периодического застоя влаги и временного протекания процессов оглеения, что типично для почв северной тайги (Забоева, 1975; Русанова, 1981; Втюрин, 1991). Ими являются наличие сизоватых пятен на белесом фоне и мелких железисто-марганцевых конкреция. Благодаря этим признакам почвы данной территории исследователи диагностировали и отмечали на почвенных картах Республики

Коми как глееподзолистые.

По мере нарастания гидроморфизма в профиле почв ключевого участка КУ-III увеличивается мощность органогенного горизонта, в котором аналогично полугидроморфным почвам участков КУ-I и КУ-II, четко выделяется 2–3 подгоризонта с разной степенью разложения органического материала. Также более выраженными становятся признаки оглеения минеральной части профиля в виде сизых пятен, возрастает количество железисто-марганцевых конкреций и марганцовистых примазок. Нарастание в полугидроморфных условиях периодически застойного переувлажнения обусловило формирование под лесной подстилкой в почвах северной тайги элювиального потечно-гумусового горизонт $EL_{hi,g}$ с высоким содержанием слаборазложившихся растительных остатков и характерным коричневатым прокрашиванием за счет миграции подвижных гумусовых соединений. В этих почвах (разрезы Р-3-Х и Р-2) в связи с более длительным застойным переувлажнением происходит глеевая мобилизация и более глубокий вынос альфегумусовых соединений из верхней супесчаной толщи в нижележащие слои, в связи с чем формирование горизонтов B_{HF} и B_F не происходит. Элювиальная толща постепенно переходит в криометаморфический горизонт со специфичной комковато-ореховатой угловато-крупитчатой структурой и признаками оглеения в виде сизых и ржаво-охристых пятен и разводов – $CRMg$.

Таким образом, учитывая специфику морфологического строения профилей почвы участка КУ-III, они нами в рамках новой классификации почв России (Классификация..., 2004; Путеводитель..., 2008) отнесены к отделу криометаморфических почв, типу светлосемов иллювиально-железистых. На данный момент в этом отделе не выделены гидроморфные типы с хорошо выраженным оторфованным горизонтом мощностью свыше 10 см. Учитывая, что на современном этапе продолжается работа по совершенствованию современной классификации почв России (Герасимова, Хохлов 2010), мы предлагаем почвы склона увала, формирующиеся в

условиях периодического застойного поверхностного переувлажнения, рассматривать на подтиповом уровне в типе светлосемов. Следовательно, почва вершины увала, то есть наиболее дренируемого участка, может быть диагностирована как светлосем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый (разрез Р-3). В средней части увала на выположенном склоне нами выделен светлосем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый (Р-3-Х). В ложбине склона, в условиях длительного переувлажнения – светлосем торфянистый потечно-гумусовый глееватый (Р-2).

Характеристика физико-химических свойств почв ключевого участка КУ-III представлена в Приложениях А (таблица 3) и В (таблица 3).

Кроме того, в таблице 8 приведены некоторые результаты, характеризующие их температурное состояние. Результаты изучения температурного режима различных подтипов светлосемов иллювиально-железистых показали следующее. По данным, полученным за 2012–2013 гг., видно, что в летний период суммы активных температур $> 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в подстильно-торфяном горизонте автоморфной почвы Р-3 и в минеральной части профиля на глубине 20 см характеризовались более низкими величинами в сравнении с полугидроморфной почвой Р-2, формирующейся в условиях поверхностного переувлажнения. При этом в обоих рассмотренных профилях прогревания почвы до температур выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глубинах 50 и 100 см не происходило.

В зимний период устойчивые отрицательные температуры в почве, формирующейся в автоморфных условиях (Р-3), фиксировались до глубины 20–30 см и сохранялись в течение 4,5 месяцев. Так называемая «нулевая завеса» (продолжительный период с околонулевыми температурами в пределах $0\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), с которой связывают формирование специфического CRM-горизонта (Тонконогов, 2010; Холопов и др., 2018а), приурочена к глубине 30–50 см.

Таблица 8 – Некоторые параметры температурного режима северотаежных криометаморфических почв (по данным 2012–2013 гг.)

Показатели	Светлозем иллювиально-железистый поверхностно- глееватый				Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый			
	Р–3				Р–2			
Разрез								
Глубина, см	0	20	50	100	0	20	50	100
Сумма среднесуточных температур:								
ниже 0 °С	-127,3	-8,4	0,0	0,0	-57,8	-6,8	0,0	0,0
выше 0 °С	1303,4	1027,4	997,0	988,6	1471,2	1421,6	1348,2	1314,1
выше 5 °С	1154,7	831,5	710,8	522,5	1223,8	1126,3	978,2	844,6
выше 10 °С	600,3	41,0	0,0	0,0	891,9	619,9	0,0	0,0
Сумма максимальных суточных температур, °С	1535,0	1047,5	1006,7	994,4	1539,7	1487,0	1362,1	1323,4
Сумма минимальных суточных температур, °С	1039,4	1009,5	987,3	982,9	1331,6	1369,5	1339,3	1308,6
Количество дней со среднесуточной температурой:								
выше 5 °С	121	111	105	88	121	122	127	123
выше 10 °С	49	4	0	0	66	55	0	0
Количество безморозных дней	225	266	365	365	281	322	365	365

В полугидроморфной почве (разрез Р-2), формирующейся в наиболее влажных условиях, промерзание достигает глубины 20-30 см и сохраняется в течение 2,5 месяцев с формированием нулевой завесы на глубине 40 см. Следует отметить, что криометаморфическое оструктурирование в рассматриваемом светлоседе иллювиально-железистом поверхностно-глееватом (разрез Р-3) охватывает минеральную часть профиля до глубины 115 см, в светлоседе торфянистом потечно-гумусовом глееватом (Р-2) – до глубины 90 см. Не исключено, что глубокие криометаморфические горизонты CRM, не входящие в зону актуального промерзания, являются своего рода реликтовыми образованиями, оставшимися от прошлых климатических периодов, характеризующихся более холодными температурными условиями (Русанова и др., 2010). В настоящее время в условиях вероятного потепления климата при отсутствии стабильно низких температур в профиле почвы возможна постепенная деградация CRM-горизонтов.

Суммы отрицательных среднесуточных температур в автоморфных условиях варьировали от минус 127,3 °С в подстилке почвы до минус 8,4 °С на глубине 20 см. В полугидроморфной почве эти значения составили всего минус 57,8 °С в верхней части подстилки и минус 6,8 °С на глубине 20 см. Во всех рассмотренных почвах отрицательные температуры не достигали полуметровой толщи профиля. Таким образом, формирующийся в профиле полугидроморфной почвы Р-2 мощный подстильно-торфяной горизонт (его мощность порядка 20–25 см) служит хорошим теплоизолятором, предохраняющим почвы склона от резких перепадов температуры и длительного промерзания.

Исследуемые почвы формируются на крупнопылеватых отложениях водно-ледникового происхождения (приложение Б, таблица 3). Вниз по склону наблюдается облегчение гранулометрического состава (рисунок 17).

Таблица 9. Валовой химический состав почв северной тайги (Ключевой участок КУ-III)

Горизонт (глубина, см)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Молекулярные отношения			КД	
	%									SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Разрез Р-3 Светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый														
Eg(8–13)	82,4	1,5	9,0	0,1	0,7	0,9	—*	—	1,6	146,7	15,6	14,1	1,0	1,0
BHF(13–15)	78,8	3,6	9,5	0,1	0,7	1,2	—	—	1,6	58,0	14,1	11,3	2,4	1,0
BF(15–18)	79,8	3,4	10,2	0,1	0,7	1,1	—	—	1,6	62,3	13,3	11,0	2,3	1,0
Bcrm(18–33)	79,6	3,4	11,0	0,1	0,8	1,2	—	—	1,7	63,4	12,3	10,3	2,2	1,0
CRM1(33–40)	80,0	3,2	11,1	0,1	0,7	1,2	—	—	1,7	65,9	12,3	10,3	2,2	1,0
CRM1(40–50)	79,5	3,2	11,4	0,1	0,7	1,3	—	—	1,7	65,7	11,9	10,0	2,2	1,0
CRM1(50–60)	80,6	3,1	10,7	0,1	0,8	1,2	—	—	1,7	68,5	12,8	10,8	2,1	1,0
CRM2(60–70)	79,9	3,2	11,3	0,1	0,8	1,3	—	—	1,8	66,5	12,0	10,2	2,1	1,0
CRM3(70–80)	80,9	2,0	10,2	0,1	0,9	2,6	—	—	1,8	105,9	13,5	12,0	1,4	1,0
CRM3(80–90)	79,8	2,2	10,8	0,1	0,9	2,7	—	—	1,9	97,3	12,6	11,1	1,5	1,0
CRM3(93–115)	80,2	2,1	10,8	0,1	0,9	2,5	—	—	1,9	103,4	12,6	11,2	1,4	1,0
BC(115–130)	79,6	2,4	11,1	0,1	0,9	2,6	—	—	1,9	88,9	12,2	10,7	1,6	1,0
BC(130–145)	78,6	2,1	11,8	0,1	0,9	2,7	—	—	1,9	99,5	11,3	10,2	1,0	1,0
Разрез Р-3-Х Светлозем мелкторфянистый потечно-гумусовый глееватый														
ELhi,g(17–20)	66,9	3,3	9,5	0,7	0,6	0,7	—	—	1,9	54,8	11,9	9,8	1,0	0,9
ELg(20–30)	77,3	3,9	11,4	0,1	0,9	0,9	—	—	2,1	52,9	11,5	9,4	1,2	1,0
Bcrm(30–40)	77,8	3,8	11,5	0,2	1,0	0,9	—	—	2,1	54,8	11,5	9,5	1,2	1,0
Bcrm(40–50)	77,4	4,0	11,5	0,1	1,0	0,9	—	—	2,1	51,4	11,5	9,4	1,2	1,0
CRM1g(50–60)	77,2	4,1	11,5	0,1	1,0	0,9	—	—	2,1	50,2	11,4	9,3	1,3	1,0
CRM 2g(60–80)	76,8	4,4	11,7	0,1	1,0	1,0	—	—	2,2	47,0	11,1	9,0	1,3	1,0
CRM 3g(80–96)	74,3	5,2	12,7	0,2	1,1	1,1	—	—	2,1	38,2	10,0	7,9	1,6	1,0
CRM 3g(96–118)	73,7	5,3	12,9	0,2	1,1	1,2	—	—	2,2	36,8	9,7	7,7	1,6	1,0
CRM 3g(118–150)	73,5	5,5	12,8	0,2	1,2	1,1	—	—	2,2	35,9	9,7	7,7	1,7	1,0
BCg(150–170)	73,7	4,9	13,3	0,2	1,2	0,9	—	—	2,2	40,2	9,4	7,6	1,5	1,0
Cg(170–180)	74,1	4,9	12,9	0,2	1,2	0,8	—	—	2,2	40,3	9,8	7,8	1,5	1,0

Горизонт (глубина, см)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Молекулярные отношения			КД	
	%									SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Разрез Р-2 Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый														
ELhi,g(25–28)	70,9	1,6	10,1	0,5	0,6	1,2	–	–	1,6	114,7	11,9	10,8	1,0	1,0
ELhi,g(28–30)	73,6	1,9	16,1	0,1	0,7	1,1	–	–	1,6	103,4	7,8	7,2	1,2	1,0
Bcrm(30–40)	79,9	2,4	11,9	0,2	0,8	1,3	–	–	1,6	89,3	11,4	10,1	1,4	1,1
Bcrm(40–50)	80,1	2,6	11,5	0,1	0,8	1,3	–	–	1,7	81,9	11,8	10,3	1,6	1,1
Bcrm(50–60)	80,6	2,7	11,0	0,2	0,8	1,4	–	–	1,8	78,5	12,5	10,7	1,7	1,1
CRM1g(60–70)	81,5	2,8	10,6	0,1	0,8	1,2	–	–	1,7	76,6	13,1	11,2	1,7	1,1
CRM 2g(70–90)	78,6	2,9	13,7	0,1	0,8	1,3	–	–	1,6	73,4	9,8	8,6	1,7	1,1
BCg(90–110)	80,2	3,1	11,2	0,1	0,8	1,3	–	–	1,6	68,0	12,2	10,3	1,9	1,1
Cg(110–130)	80,4	3,1	10,8	0,1	0,9	1,4	–	–	1,8	68,8	12,7	10,7	1,9	1,1

*«–» – не определяли.

Согласно данным гранулометрического анализа, светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый (Р-3) формируется на легких пылеватых суглинках, светлоземы потечно-гумусовые мелкоторфянистый (Р-3-Х) и торфяный (Р-2) – на пылеватых супесях. Значительная мощность криометаморфического оструктуривания обусловлена тем, что легкосуглинистые почвообразующие породы наиболее предрасположены по своим свойствам к мерзлотному оструктуриванию (Вершинин, 1958). Присутствие в их составе фракции крупной пыли способствует более активному дроблению твердой фазы почвы при промораживании, благодаря созданию системы достаточно крупных пор (Вершинин, 1958). Именно в них в первую очередь начинает замерзать вода при температурах, близких к нулевым (чем тоньше поры, тем ниже температура замерзания воды). Подтверждением этому являются и морфологические описания рассматриваемых почв, где отмечается достаточно высокая пористость как автоморфных, так и полугидроморфных почв.

В сравнении с текстурно-дифференцированными почвами южной и средней тайги исследуемые почвы участка КУ-III менее дифференцированы по илу (рисунок 17) и полуторным оксидам (таблица 9), что характерно для светлоземов (Тонконогов, 2010). Расчет коэффициента профильной дифференциации илистой фракции показал, что в криометаморфических горизонтах светлоземов (Р-3, Р-3-Х, Р-2) данная величина варьирует от 0,7 до 2,1. Как видно (таблица 9), профиль рассматриваемых почв слабо дифференцирован по оксидам алюминия и резко – по оксидам железом, что соответствует ранее полученным данным по профильной дифференциации валового состава светлоземов европейского Северо-Востока (Тонконогов, 2010).

Физико-химические свойства исследуемых светлоземов представлены в Приложении В (таблица 3). Почвы кислые (рисунок 18), минимальные значения величины рН КСl-вытяжки отмечаются в подстильно-торфяном (2,5–3,5 ед. рН) и подзолистом (2,8–3,5 ед. рН) горизонтах.

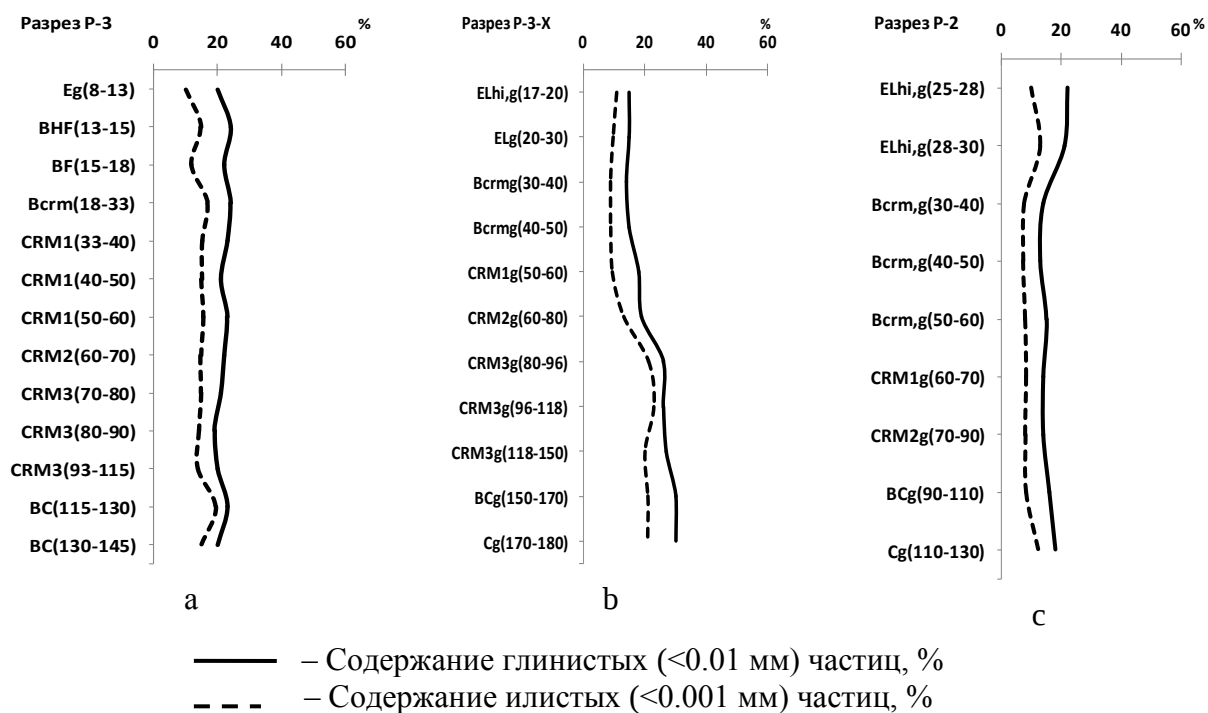


Рисунок 17 – Распределение фракций физической глины и ила в профиле почв северной тайги (Участок КУ-III). Под буквами а, b, c те же почвы, что на рисунке 16

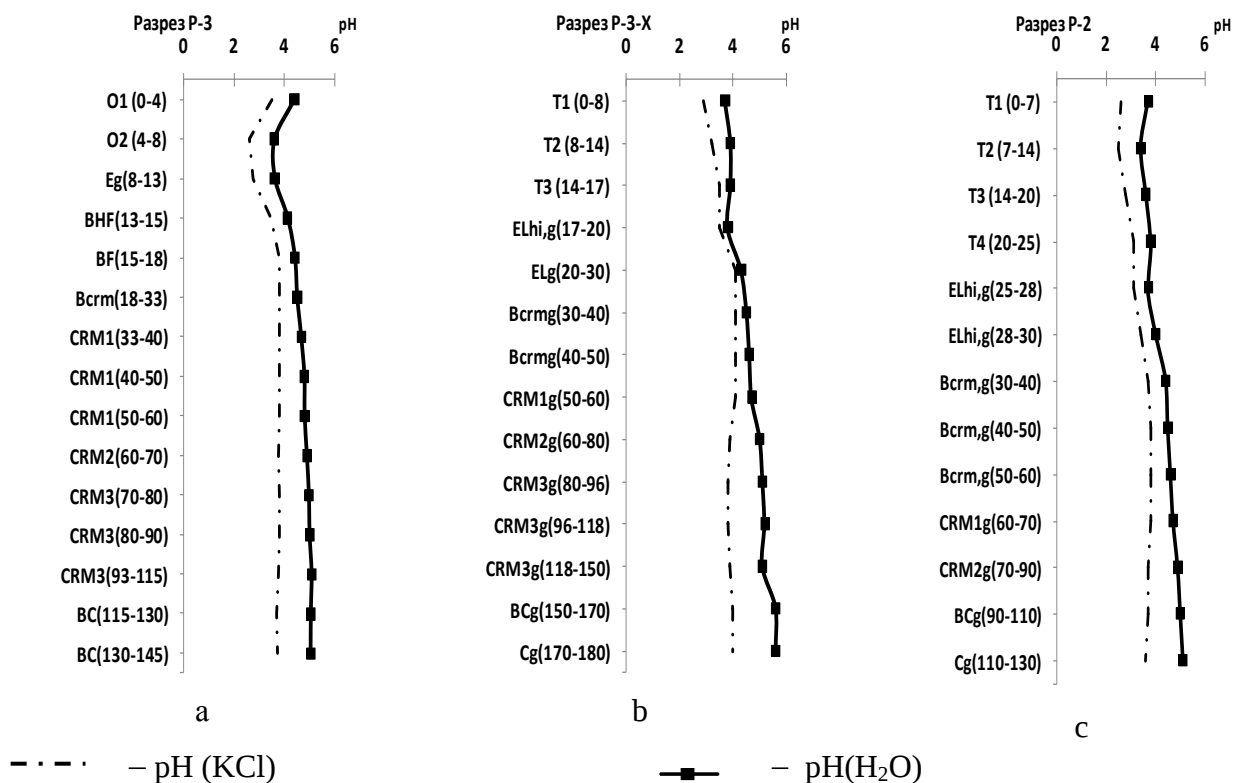


Рисунок 18 – Профильное изменение величины pH водной и солевой KCl-вытяжек в почвах северной тайги (Участок КУ-III). Под буквами а, b, c те же почвы, что на рисунке 16

В этих горизонтах таежных почв содержится наиболее высокое

количество агрессивных органических кислот (Забоева, 1975; Атлас почв..., 2010). Почвы малогумусны (рисунок 19), с преобладанием фульватного типа гумуса при отсутствии доли фракций, связанных с кальцием (Тонконогов, 2010). Почвы катены выщелочены, не насыщены основаниями, вниз по профилю увеличивается содержание обменных оснований (рисунок 20).

Осветленность подзолистого горизонта и низкое в нем содержание обменных оснований в большей мере обусловлены глее-альфегумусовыми процессами, нежели разрушением первичных минералов (Тонконогов, 2010).

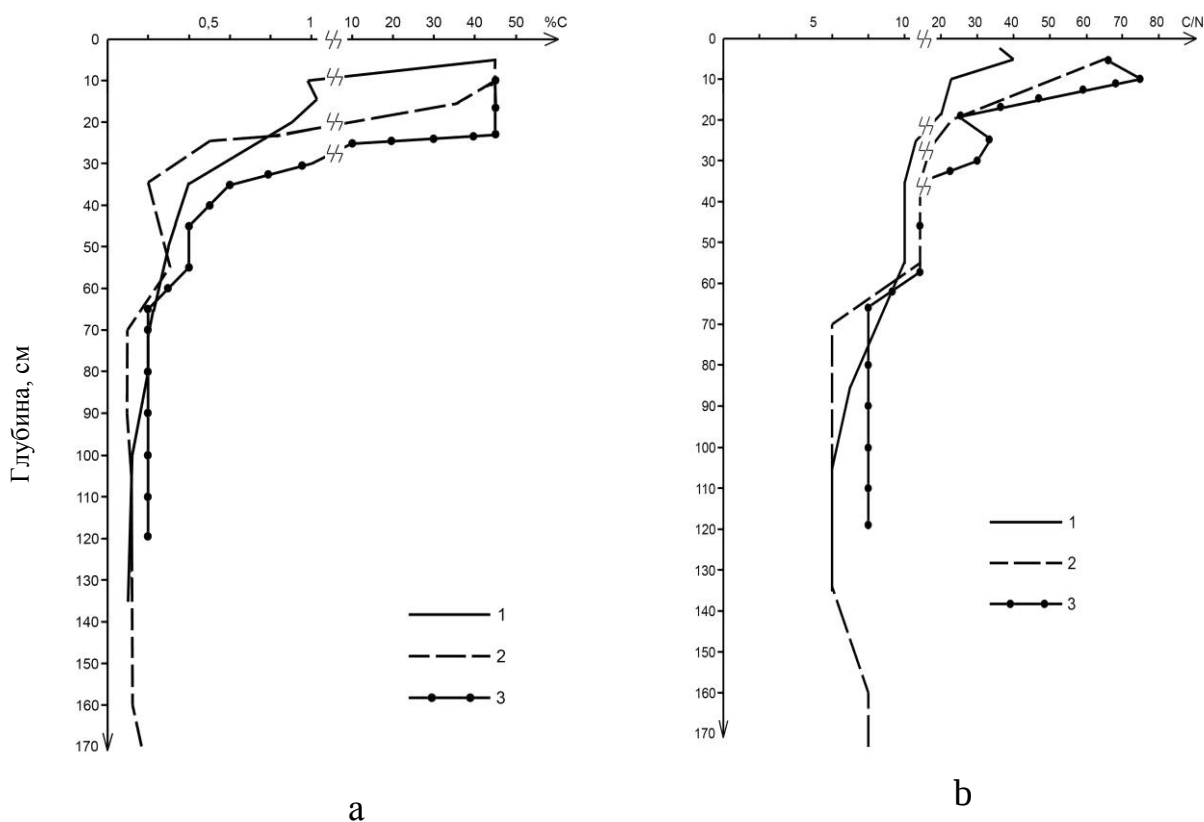


Рисунок 19 – Профильное изменение содержания общего органического углерода (а) и величины отношения C/N (б) в почвах северной тайги: 1 – светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый; 2 – светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый; 3 – светлозем потечно-торфянистый гумусовый глееватый

В светлоземе иллювиально-железистом поверхностно-глееватом (Р-3) поступающие из подстилки подвижные органические вещества в форме альфегумусовых соединений аккумулируются в верхней части профиля – в иллювиально-железистых горизонтах ВНФ и ВФ, где отмечается

значительное накопление оксалат- и дитионитрастворимых соединений железа (рисунок 21a).

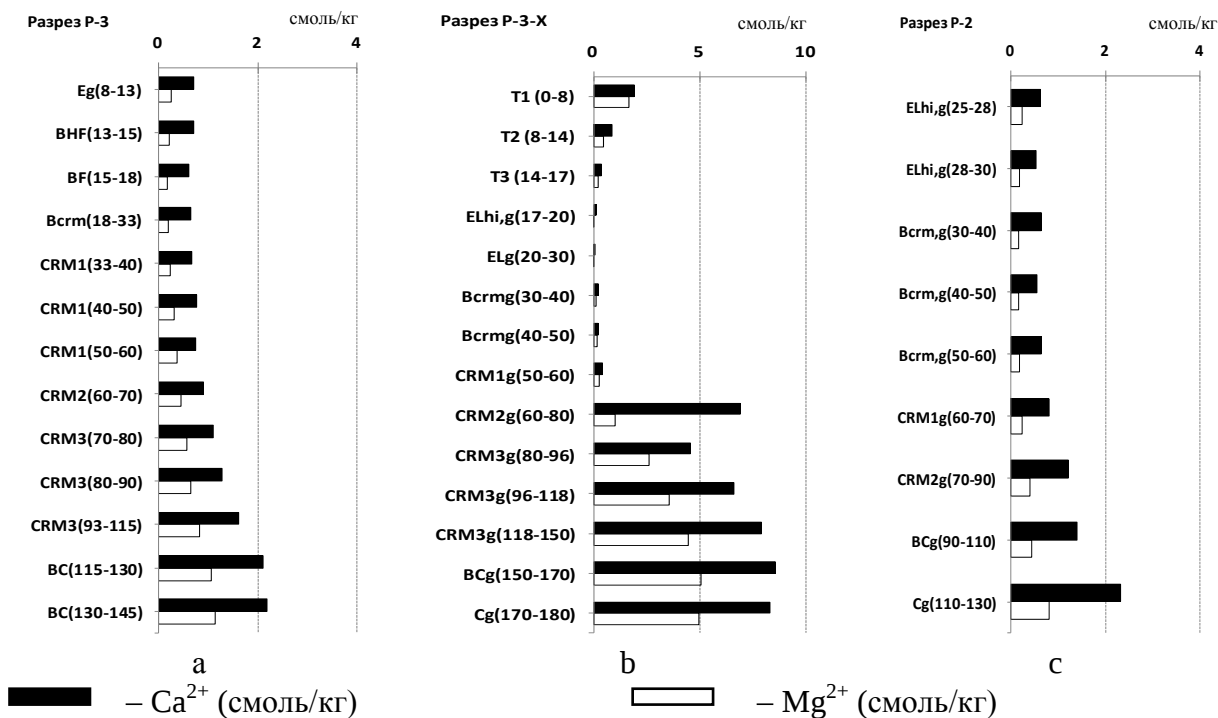


Рисунок 20 – Распределение обменных оснований в профиле почв северной тайги (Участок КУ-III). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 16

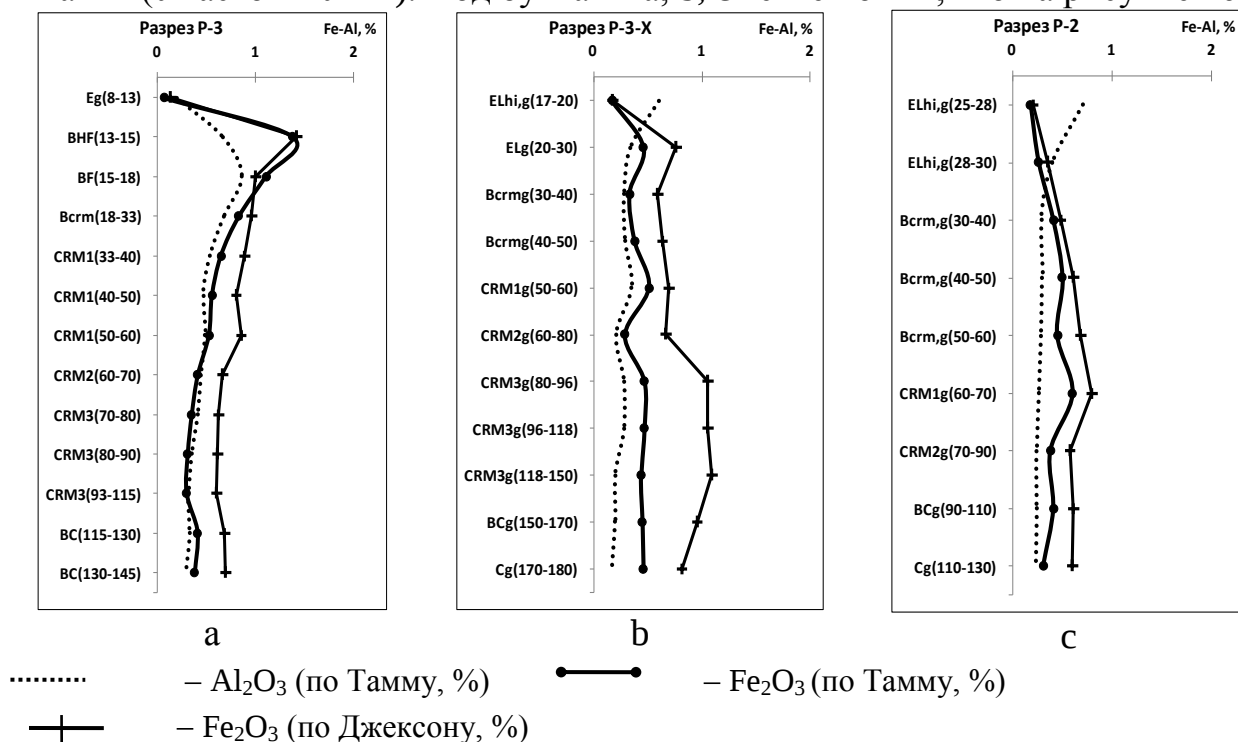


Рисунок 21 – Распределение оксалатрастворимых (по Тамму) и дитионитрастворимых (по Джексону) форм соединений железа в профиле почв северной тайги (Участок КУ-III). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 16

В полугидроморфных почвах (Р-3-Х и Р-2) в связи с длительным застойным переувлажнением происходит глеевая мобилизация и более глубокая миграция альфегумусовых соединений из верхней супесчаной толщи в нижележащие слои (рисунки 21b, 21c). Максимальное содержание несиликатных форм железа отмечено в средней части профиля. Для разреза Р-3-Х это горизонт CRM1g (глубина 50–60 см), для Р-2 – горизонты Bcm,g (30–60 см) и CRM1g (60–70 см).

Таким образом, к северу таежной зоны возрастание в составе органического вещества лесной подстилки почв криометаморфического ряда, вследствие более суровых климатических условий, подвижных агрессивных фракций фульвокислот и низкомолекулярных органических кислот способствует нисходящей миграции с почвенно-грунтовыми водами на значительную глубину органо-минеральных альфегумусовых соединений. Выносу и перераспределению этих соединений в профилях почв способствуют более интенсивно протекающие в климатических условиях северной тайги процессы поверхностного оглеения (рисунок 21).

4.1.4 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв крайнесеверной тайги

На ключевом участке КУ-IV, выделенном в подзоне крайнесеверной тайги, представлен ряд почв (рисунок 22), близкий к почвам участка КУ-III. К отличительной особенности этого ряда почв следует отнести то, что здесь на вершине увала в хорошо дренированных условиях формируется светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый (разрез Р-39). В полугидроморфных условиях склона увала в его средней части и в ложбине представлены: светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый (Р-42) и светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый (Р-71). Это связано с активизацией процессов иллювиирования гумусовых веществ в более жестких климатических условиях

крайнесеверной тайги и более активным прокрашиванием подзолистого горизонта в коричневатые тона не только ложбинах и западинах, но и на повышенных элементах рельефа (рисунок 22).

Морфологическое описание исследуемых светлоземов крайнесеверной тайги представлено в приложении А (таблица 4), физико-химические свойства – в приложениях Б и В (таблицы 4).

Почвы формируются под пологом ельников с примесью березы, бонитет IV. По морфологическим и физико-химическим свойствам они во многом имеют сходные характеристики с почвами северной тайги (Участок КУ-III).

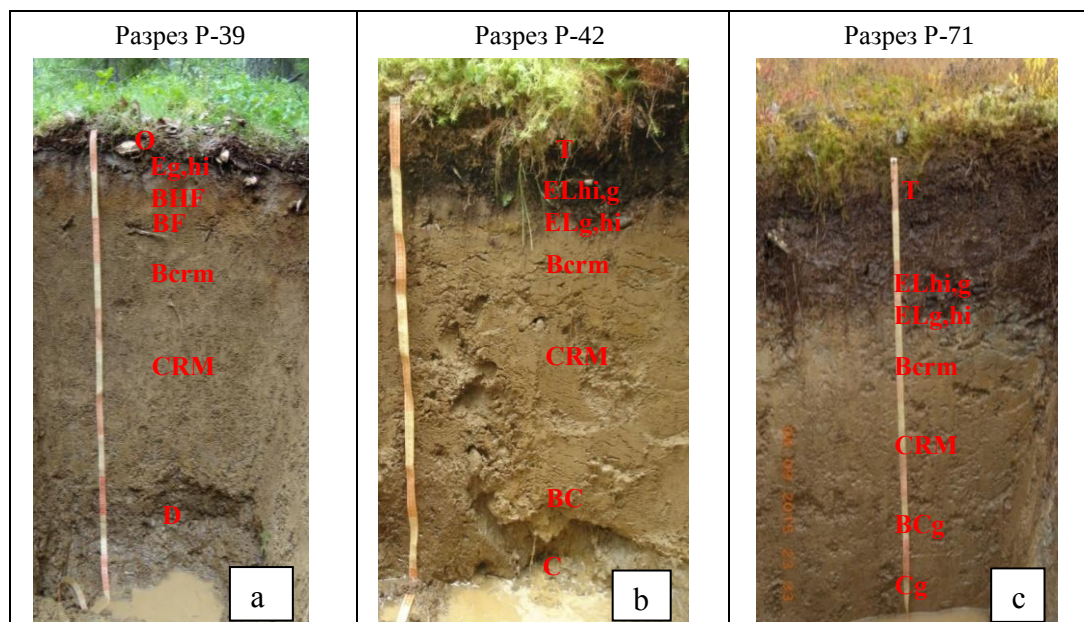


Рисунок 22 – Морфологическое строение светлоземов криометаморфических крайнесеверной тайги (Участок КУ-IV): а – светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый, б – светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый, с – светлозем потечно-торфянистый гумусовый глееватый

Характерным признаком морфологического строения рассматриваемых почв участка КУ-IV является также сочетание подзолистого процесса с криометаморфическим оструктурированием, при отсутствии ясно выраженного текстурного горизонта BT. Аналогично северотаежным почвам автоморфный светлозем (P-39) крайнесеверной тайги выделяется наличием под подзолистым горизонтом иллювиально-гумусово-

железистых горизонтов BHF – BF, однако в подзолистом горизонте помимо признаков оглеения четко выделяется коричневатое прокрашивание, обусловленное иллювиированием подвижных гумусовых соединений из органогенного горизонта. Соответственно подзолистый потечно-гумусовый горизонт ELhi,g формируется не только в полугидроморфных условиях, но и в автоморфных. В связи со спецификой строения данная почва отнесена к светлосемам иллювиально-железистым потечно-гумусовым поверхностно-глееватым.

В профиле полугидроморфных почв подзоны крайнесеверной тайги (разрезы Р-42 и Р-71) под подстильно-торфяным горизонтом также развит подзолистый горизонт со специфическим коричневатым прокрашиванием за счет иллювиирования гумусовых веществ и сизоватыми пятнами оглеения – ELhi,g, сменяющийся горизонтом с криометаморфическим оструктурированием и признаками оглеения – горизонт CRMg.

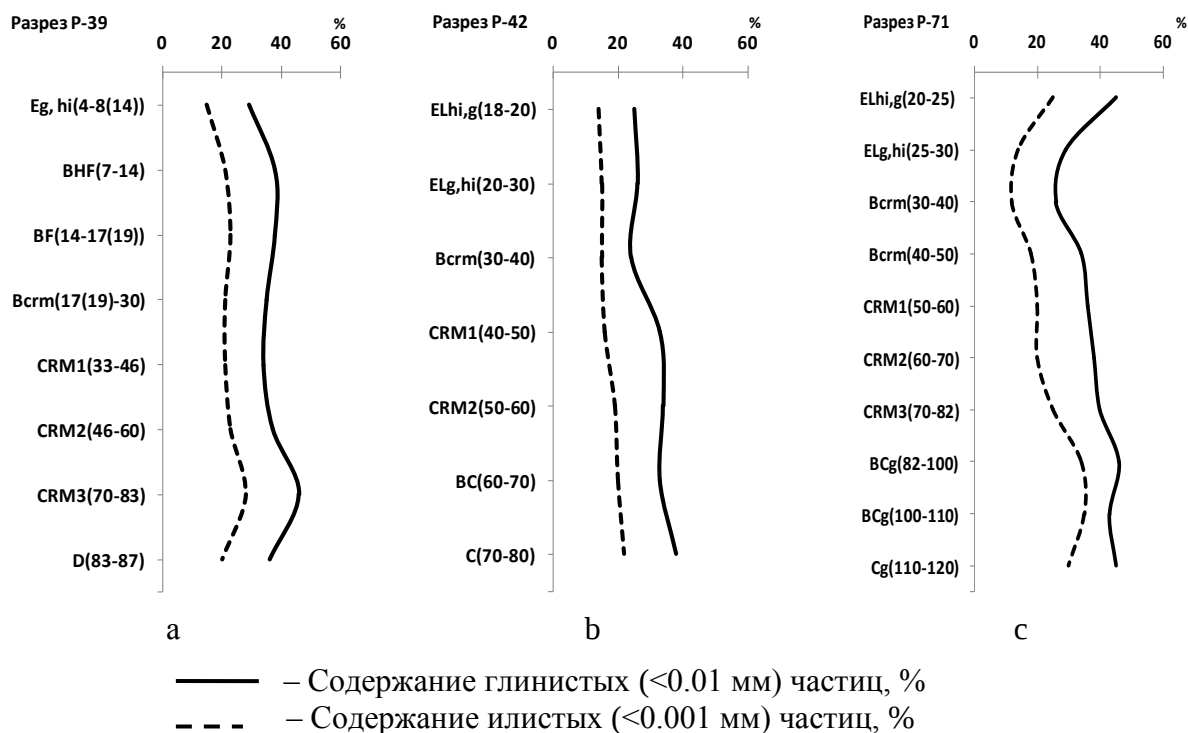


Рисунок 23 – Распределение фракций физической глины и илистых частиц в профиле почв крайнесеверной тайги (Участок КУ-IV). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 22

Таблица 10. Валовой химический состав почв крайнесеверной тайги (Ключевой участок КУ-IV)

Горизонт (глубина, см)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Молекулярные отношения			КД	
	%									SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Разрез Р-39 Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый														
Eg,hi(4–8)	78,2	2,9	9,7	0,1	0,5	1,0	—*	—	1,5	72,4	13,7	13,7	1,0	1,0
BHF(7–14)	70,7	5,5	11,5	0,0	0,6	1,1	—	—	1,7	34,3	10,4	8,5	1,9	0,9
BF(14–17)	71,7	5,3	12,6	0,1	0,6	1,3	—	—	1,8	36,3	9,7	7,4	1,8	0,9
Bcrm(17–30)	73,6	4,8	13,0	0,0	0,6	1,4	—	—	1,9	40,7	9,6	7,5	1,7	0,9
CRM1(30–46)	74,7	4,8	12,6	0,1	0,7	1,4	—	—	1,9	42,0	10,1	7,8	1,6	1,0
CRM2(46–60)	73,6	5,2	13,1	0,0	0,6	1,5	—	—	2,0	37,7	9,5	7,4	1,8	0,9
CRM3(60–83)	72,5	5,7	13,4	0,1	0,6	1,5	—	—	1,9	34,1	9,2	7,1	2,0	0,9
D(83–87)	79,8	4,5	9,5	0,0	0,5	1,2	—	—	1,4	47,4	14,2	9,9	1,6	1,0
Разрез Р-42 Светлозем мелкторфянистый потечно-гумусовый глееватый														
ELhi,g(18–20)	81,8	3,2	8,0	0,1	0,5	0,9	—	—	1,3	67,5	17,4	11,6	1,0	1,0
ELg,hi(20–30)	78,4	4,2	10,5	0,1	0,6	1,2	—	—	1,7	49,5	12,7	9,3	1,3	1,0
Bcrm(30–40)	80,1	3,8	9,9	0,01	0,6	1,1	—	—	1,6	55,9	13,7	13,7	1,2	1,0
CRM1g(40–50)	75,6	4,2	13,2	0,01	0,6	1,2	—	—	1,8	47,6	9,7	9,7	1,3	0,9
CRM2g(50–60)	60,6	3,2	29,0	2,0	0,4	0,9	—	—	1,2	51,0	3,5	3,2	1,0	0,7
BCg(60–70)	72,3	4,5	16,2	0	0,6	1,3	—	—	1,7	42,9	7,6	6,2	1,4	0,9
Cg(70–80)	74,8	5,1	12,1	0,01	0,5	1,7	—	—	1,7	38,8	10,5	8,1	1,6	0,9
Dg(80–100)	89,3	2,4	4,8	0,1	0,3	0,6	—	—	0,8	97,4	31,8	17,7	0,8	1,1

*«—» — не определяли.

Общая мощность горизонта со специфической угловато-крупитчатой структурой (CRM-горизонт) составляет в автоморфных условиях более 50 см, в полугидроморфных – порядка 40 см. Снижение мощности криометаморфического оструктуривания в профиле крайнесеверотаежных почв сопряжено с уменьшением мощности легкосуглинистых отложений, которые с глубины 80-100 см подстилаются опесчаненными моренными суглинками и супесями (рисунок 23). Сильноопесчаненная порода слабо способствует криометаморфическому оструктуриванию профиля (Вершинин, 1958). В то же время, несмотря на более тяжелый гранулометрический состав, в сравнении с почвами участка северной тайги (КУ-III), профиль почв участка КУ-IV характеризуется слабой дифференциацией по илу (рисунок 23) и полуторным оксидам (таблица 10). Расчетный коэффициент дифференциации (КД) ила в профиле крайнесеверотаежных светлосеземов участка КУ-IV в пределах 1,9–2,9. Аналогично почвам участка КУ-III, в профилях почв ключевого участка КУ-IV отмечается более четкая дифференциация валового состава по железу, дифференциация по алюминию выражена в меньшей степени (таблица 10).

Почвы сохраняют высокую кислотность (рисунок 24) и выщелоченность от обменных оснований (рисунок 25). В полугидроморфной почве Р-71 содержание обменных оснований в нижней части профиля более высокое, что связано с близким залеганием карбонатных пород. Характерным свойством исследуемых почв (как и в северотаежных светлосеземах участка КУ-III) является высокое содержание в профиле подвижных гумусовых соединений фульватного типа, поступающих из подстилки и пропитывающих почву на более значительную глубину, по сравнению почвами южной и средней тайги (рисунок 26), благодаря формированию органо-минеральных альфегумусовых соединений (приложение В, таблица 4).

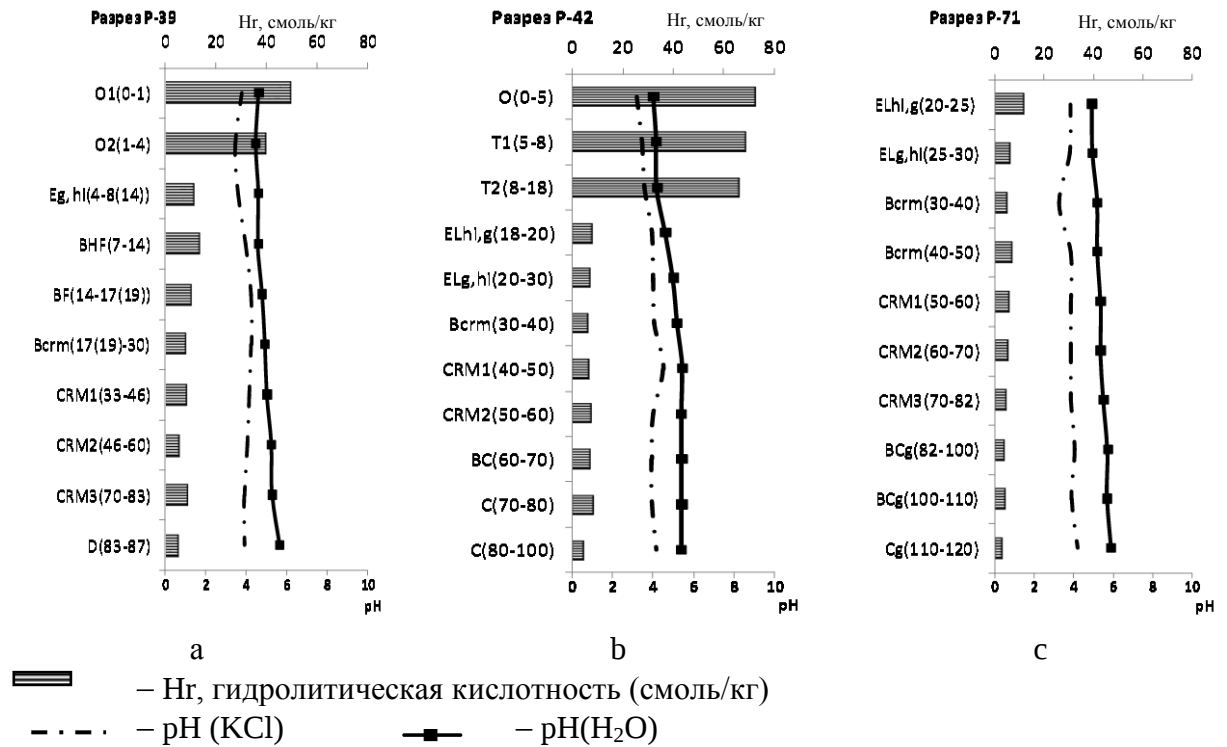


Рисунок 24 – Профильное изменение величины pH водной и солевой KCl вытяжек в почвах северной тайги (Участок КУ-IV). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 22

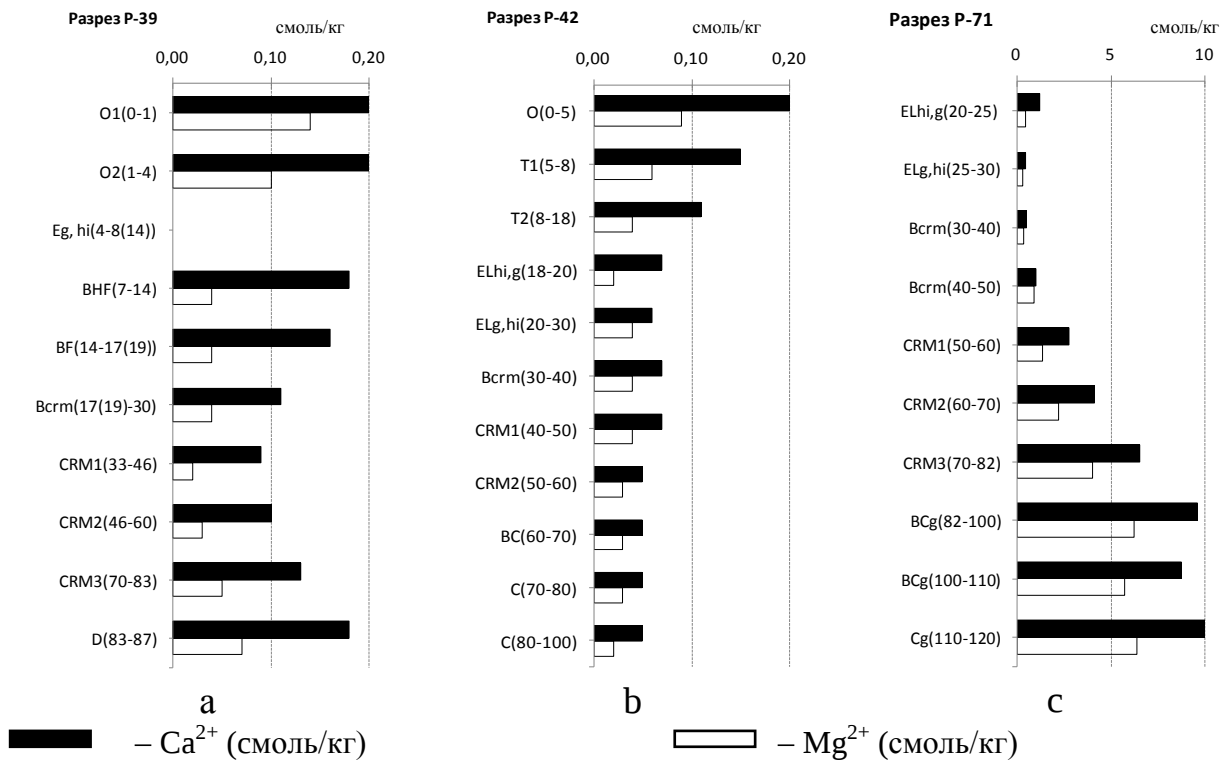


Рисунок 25 – Распределение обменных оснований в профиле почв крайнесеверной тайги (Участок КУ-IV). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 22

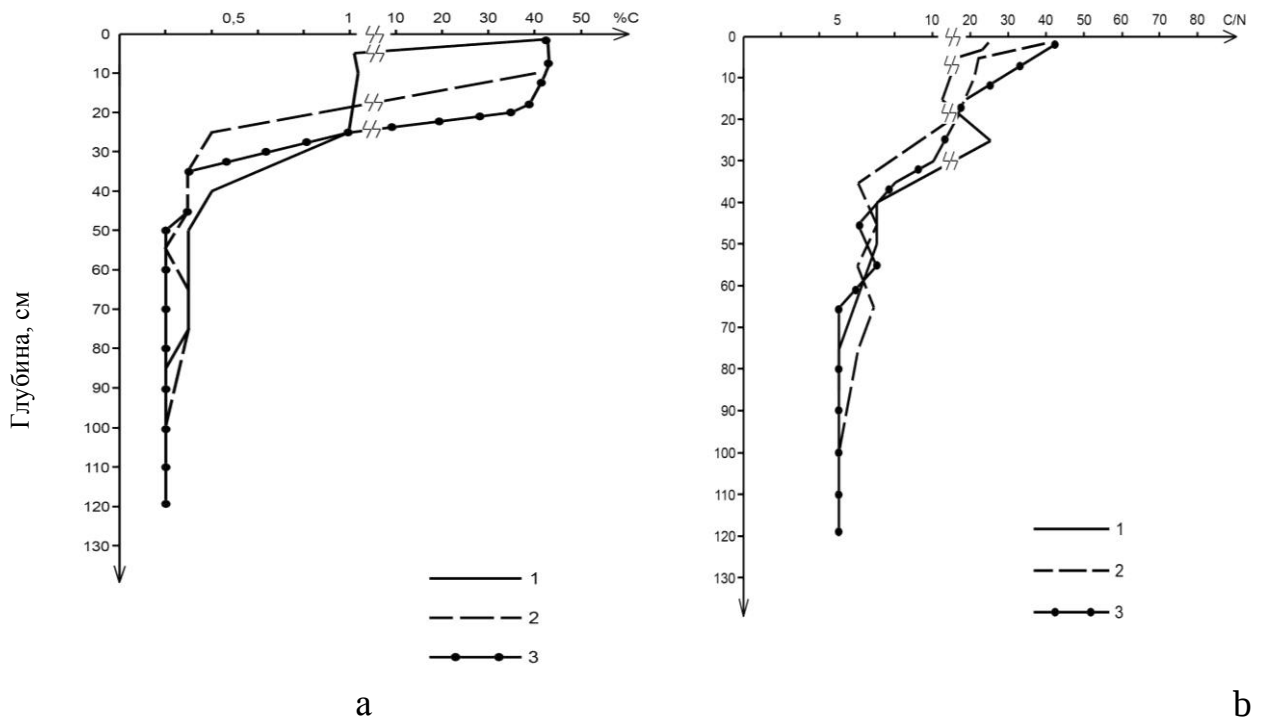


Рисунок 26 – Профильное изменение содержания общего органического углерода (а) и величины отношения C/N (б) в почвах крайнесеверной тайги: 1 – светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый; 2 – светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый; 3 – светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый

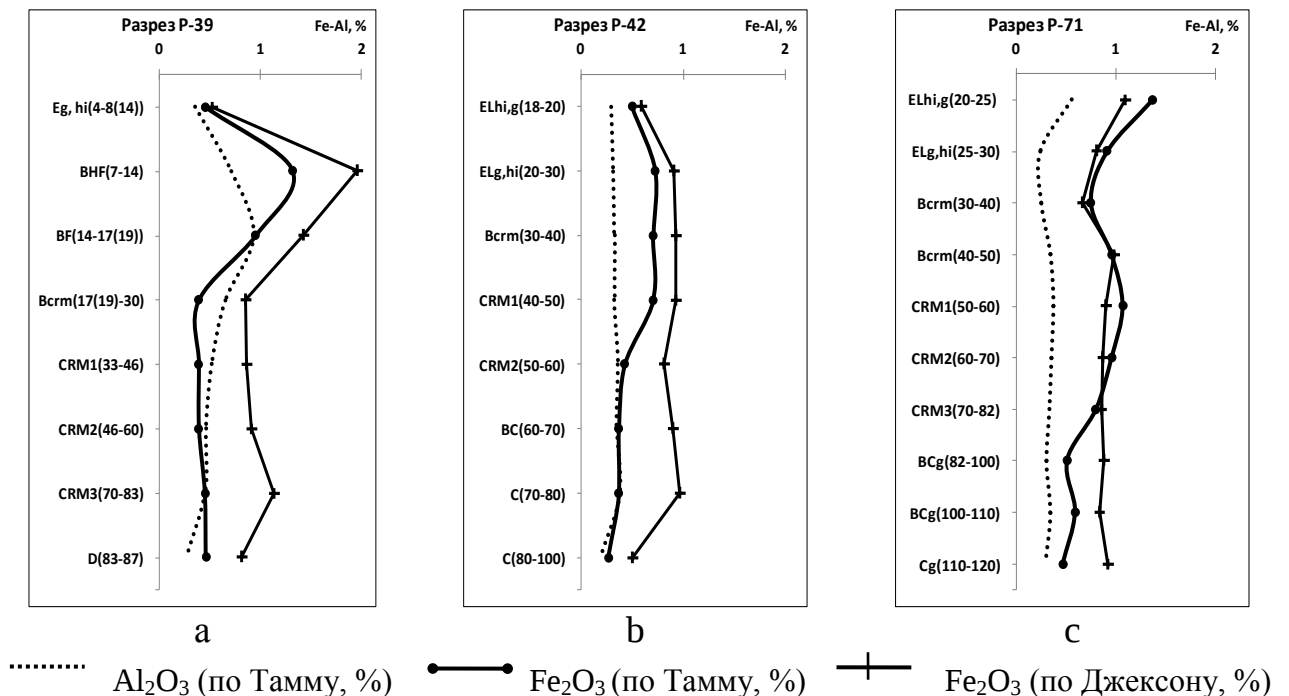


Рисунок 27 – Распределение оксалат- и дитионитрастворимых форм соединений железа и алюминия в профиле почв крайнесеверной тайги (Участок КУ-IV). Под буквами а, б, с те же почвы, что на рисунке 22

В автоморфных условиях (Р-39) они аккумулируются в системе

иллювиально-(гумусово)-железистых горизонтов ВНF – BF (рисунок 27a), в полугидроморфных почвах (Р-42 и Р-71) – преимущественно в криометаморфических горизонтах (рисунки 27b, 27c).

4.1.5 Характеристика физико-химических свойств автоморфных и полугидроморфных почв лесотундры

На ключевом участке КУ-V, расположенном в зоне лесотундры, почвы рассматриваемой катены аналогичны почвам ключевого участка КУ-IV (рисунок 28). На вершине увала в автоморфных условиях представлен светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый (разрез Р-4-1). В полугидроморфных условиях средней части увала и в ложбине склона описаны соответственно светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый (Р-4-X) и светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый (Р-4-2).

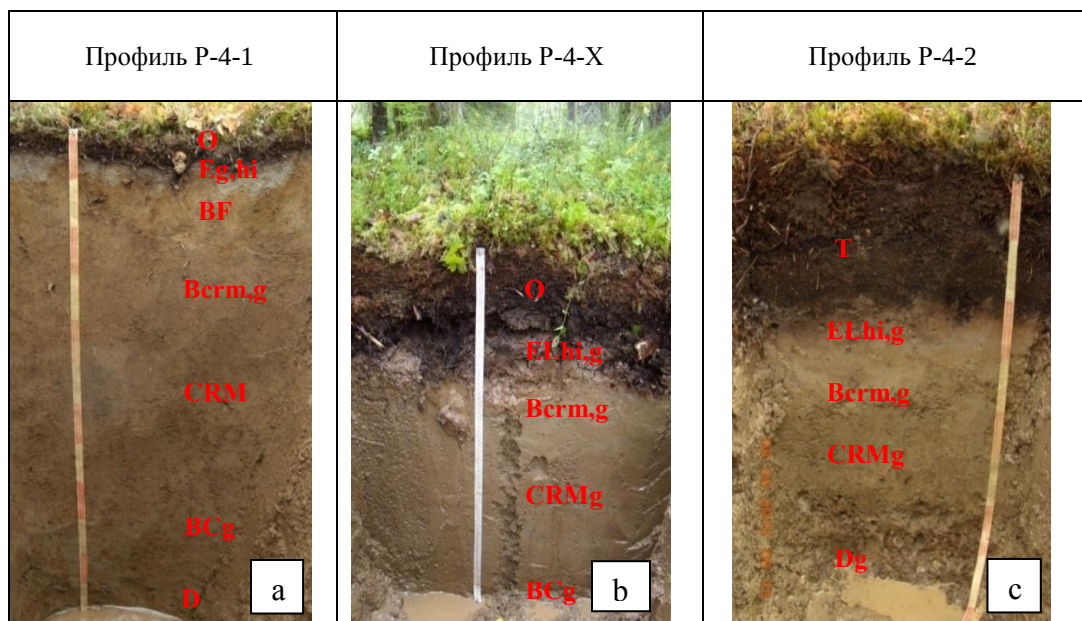


Рисунок 28 – Морфологическое строение светлоземов криометаморфических лесотундры (Участок КУ-V): а – светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый; б – светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый; с – светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый

Характеристика исследуемых почв представлена в приложениях А, Б и В (таблицы 5). Рассматриваемые почвы формируются в биоклиматических условиях лесотундры – переходной (экотонной) области от таежной зоны к

тундровой. Древесная растительность представлена здесь редкостойным ельником с примесью березы IV класса бонитета. Лесная древесная растительность существует в этом регионе в крайних гидротермических условиях своего распространения, под давлением субарктического климатического пояса. Формирование лесных почв в данных условиях происходит при глубоком и длительном промерзании, а так же повышенном увлажнении даже в автоморфных условиях (Пастухов, 2008; Тонконогов, 2010). Физическое состояние почв при этом становится близким к тундровым с появлением криогенных турбаций при промерзании и тиксотропных процессов при переувлажнении.

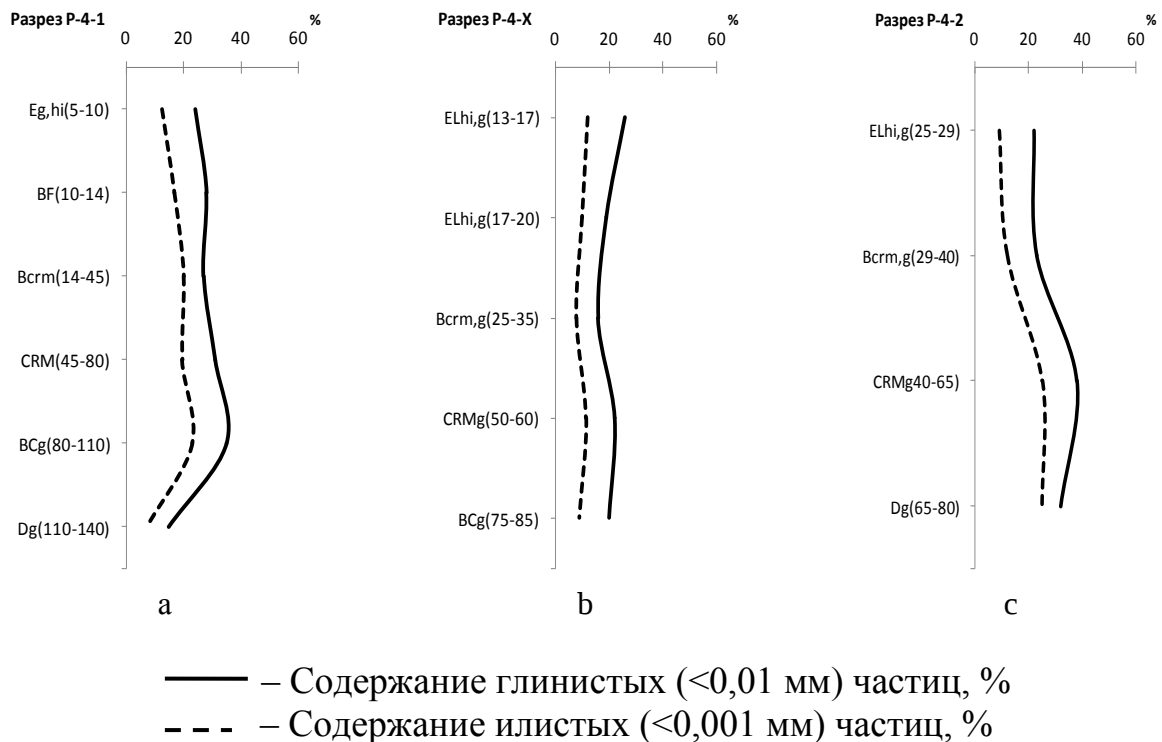


Рисунок 29 – Распределение фракций физической глины и ила в профиле почв лесотундры (Участок КУ-V). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 28

Аналогично почвам северной и крайнесеверной тайги (соответственно ключевые участки КУ-III и КУ-IV) в исследуемых почвах лесотундры подзолистый процесс сочетается с криометаморфическим оструктурированием минеральной массы в срединной части профиля почв и формированием

специфического криометаморфического горизонта – CRM. Наиболее ярко этот горизонт выражен в автоморфных условиях (P-4-1) с, мощностью в целом более 60 см. В полугидроморфных почвах (P-4-X, P-4-2) из-за повышенной влажности (верховодка с 60 см) структура CRM-горизонта близка к творожистой и несет выраженные признаки протекания процессов оглеения – горизонт CRMg. Кроме того, в полугидроморфных почвах сокращается и общая мощность CRM горизонтов до 30 см. Вниз по склону, вследствие усиления гидроморфизма почв и ослабления трансформации растительного опада, увеличивается мощность органогенных горизонтов, в верхней минеральной части появляются признаки плавунности.

Неблагоприятные климатические условия лесотундры – низкие температуры воздуха, низкая испаряемость, длительный застой влаги – обусловили протекание глеевые процессов в автоморфной почве не только в подзолистом горизонте (поверхностное оглеение), но и в нижних горизонтах профиля, возможно, за счет застоя влаги на контакте смены пород (контактное оглеение). Почвы рассматриваемого ключевого участка развиты на крупно-пылеватых бескарбонатных легких и средних суглинках водно-ледникового происхождения (приложение Б, таблица 5). Верхняя часть профиля (примерно до глубины 40 см) более легкая по гранулометрическому составу в сравнении с нижней (рисунок 29). С глубины 80–100 см суглинки подстилаются супесчано-песчаными отложениями. Профиль исследуемых почв характеризуется слабой дифференциацией как по илу (рисунок 29), так и полуторным оксидам (таблица 11). Расчетный коэффициент дифференциации (КД) ила в профилях почв варьирует в пределах 1,1–2,8 с максимальным в CRMg-горизонте наиболее гидроморфного разреза, что может быть связано с его более тяжелым гранулометрическим составом и литологической неоднородностью данного профиля.

Таблица 11. Валовой химический состав светлосема мелкоторфянистого потечно-гумусового глееватого Р-4-Х лесотундры (Ключевой участок КУ-V)

Горизонт (глубина, см)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Молекулярные отношения			КД	
	%									SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
ELhi,g(13–17)	73,1	4,4	11,3	0,3	0,9	0,6	—*	—	2,1	43,9	11,0	8,8	1,2	0,9
ELhi,g(17–25)	77,6	3,8	11,7	0,1	1,0	0,7	—	—	2,1	54,0	11,3	9,3	1,0	1,0
Bcrm,g(25–41)	78,1	3,7	10,9	0,1	1,1	0,5	—	—	2,1	55,3	12,1	10,0	1,0	1,0
CRMg(41–70)	77,1	4,1	11,6	0,1	1,1	0,6	—	—	2,2	50,2	11,3	9,2	1,1	1,0
BCg(70–91)	77,5	4,1	11,5	0,1	1,1	0,6	—	—	2,2	50,8	11,4	9,3	1,1	1,0

*«—» — не определяли.

По содержанию железа и алюминия данные почвы практически не дифференцированы, о чем свидетельствуют данные расчета мольных отношений кремнезема к полутормок оксидам и коэффициентов профильной дифференциации SiO_2 и Fe_2O_3 (таблица 11).

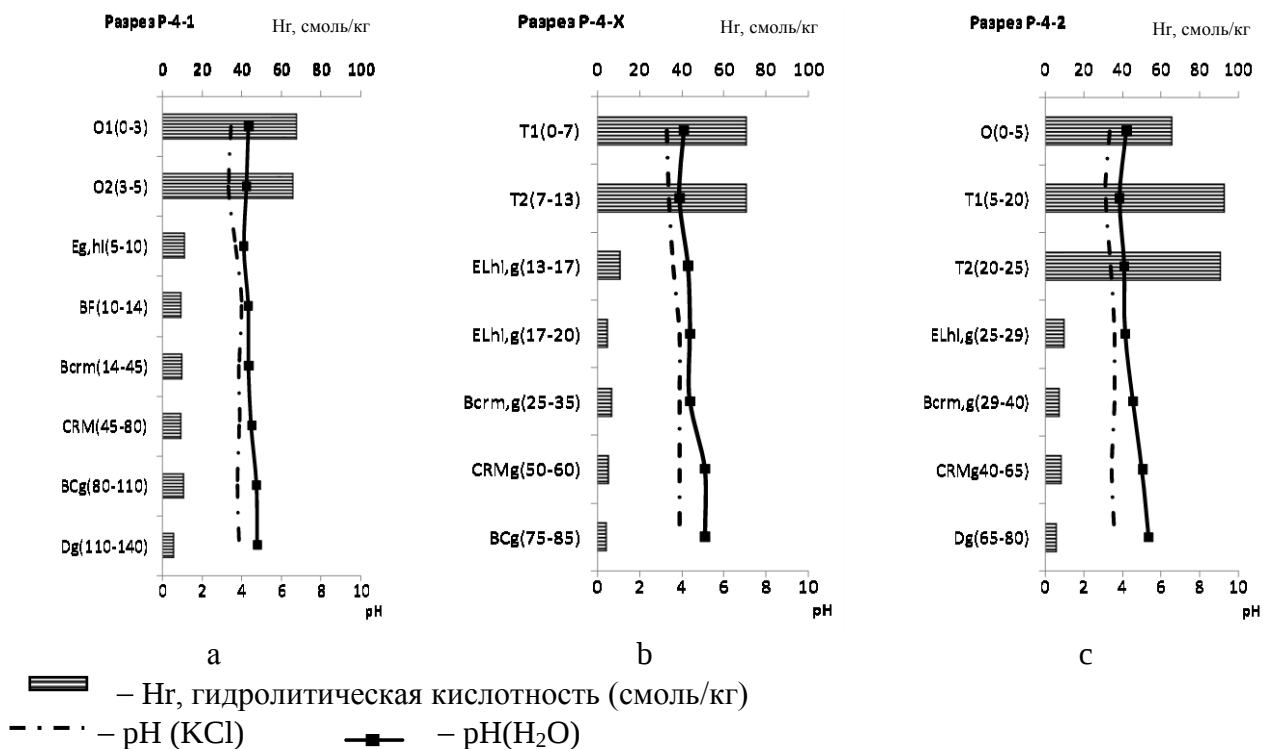


Рисунок 30 – Профильное изменение гидролитической кислотности, величины рН водной и солевой (KCl) вытяжек в почвах лесотундры (Участок КУ-V). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 28

Почвы лесотундры также характеризуются повышенной кислотностью (рисунок 30). Минимальные значения величины рН KCl-вытяжки отмечаются в подстильно-торфяном (3,3–3,1 ед. рН) и подзолистом (3,6–3,7 ед. рН) горизонтах, где содержится наиболее высокое количество агрессивных органических кислот (Забоева, 1975). Содержание обменных оснований в профиле почв лесотундры минимальное из всех исследованных рядов почв (рисунок 31), что обусловлено, по всей видимости, литологическим и минералогическим составом почвообразующей породы. Аналогично рассмотренным ранее светлоседам северной (КУ-III) и крайнесеверной (КУ-IV) тайги, распределение общего органического углерода (Собщ.) в почвах лесотундры носит регрессивно-аккумулятивный

характер (рисунок 31). Максимум Собщ. содержится в подстильно-торфяном горизонте, где аккумулируются растительные остатки в виде оторфованной массы разной степени разложения.

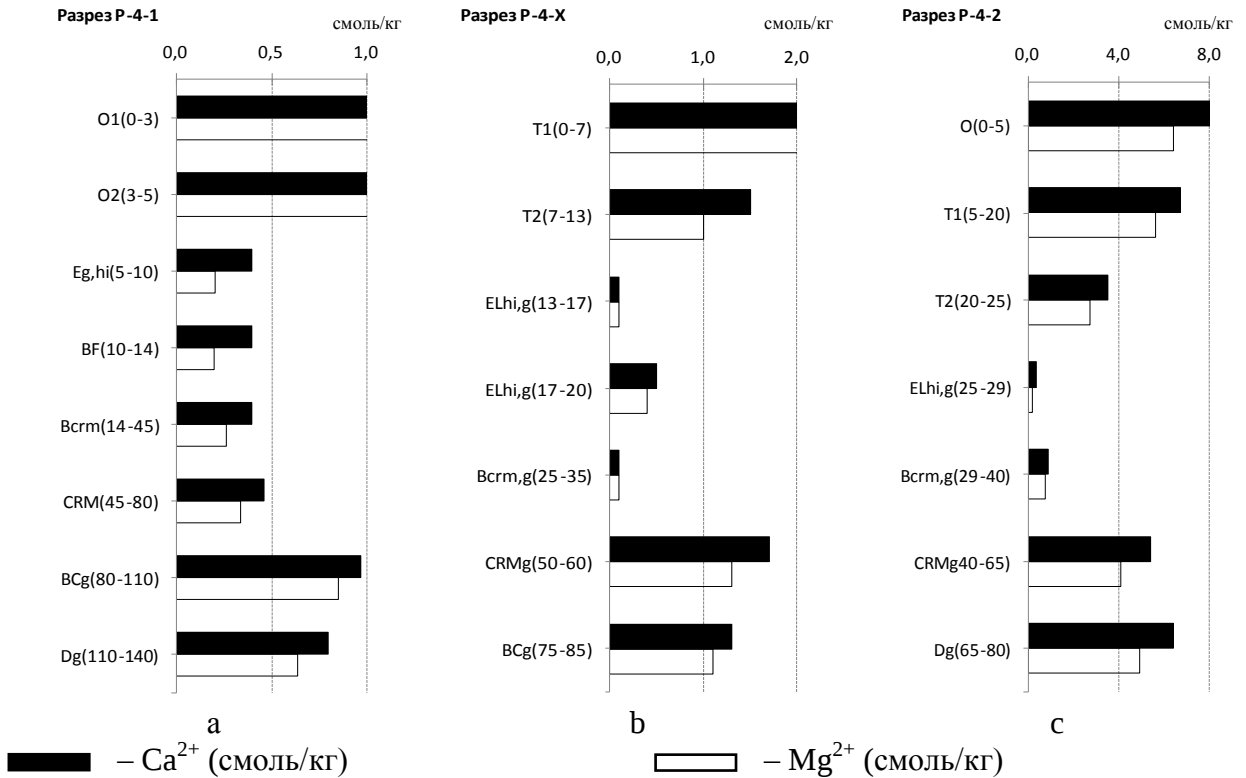


Рисунок 31 – Распределение обменных оснований в профиле почв лесотундры (Участок КУ-V). Буквами а, б, с отмечены те же почвы, что на рисунке 28

Общей закономерностью для почв всех рассмотренных катен, начиная от ключевого участка в южной тайге и кончая лесотундрой, является расширение соотношения величины C/N в органогенных горизонтах в направлении от почв, занимающих автоморфные позиции, к полугидроморфным почвам (Рисунок 32). Обоedнение органического вещества подстильно-торфяных горизонтов азотом по мере нарастания условий увлажнения обусловлено, с одной стороны, изменением ботанического состава напочвенного покрова (возрастание доли политриховых и сфагновых мхов в составе мохового яруса). С другой, снижение в этом направлении азотистых соединений может быть связано с усилением процессов денитрификации и потерь азота в виде NO, N₂O, N₂ в

результате активизации анаэробных микроорганизмов в периоды развития верховодки и переувлажнения верхней части профиля почв (Рижия и др., 2014).

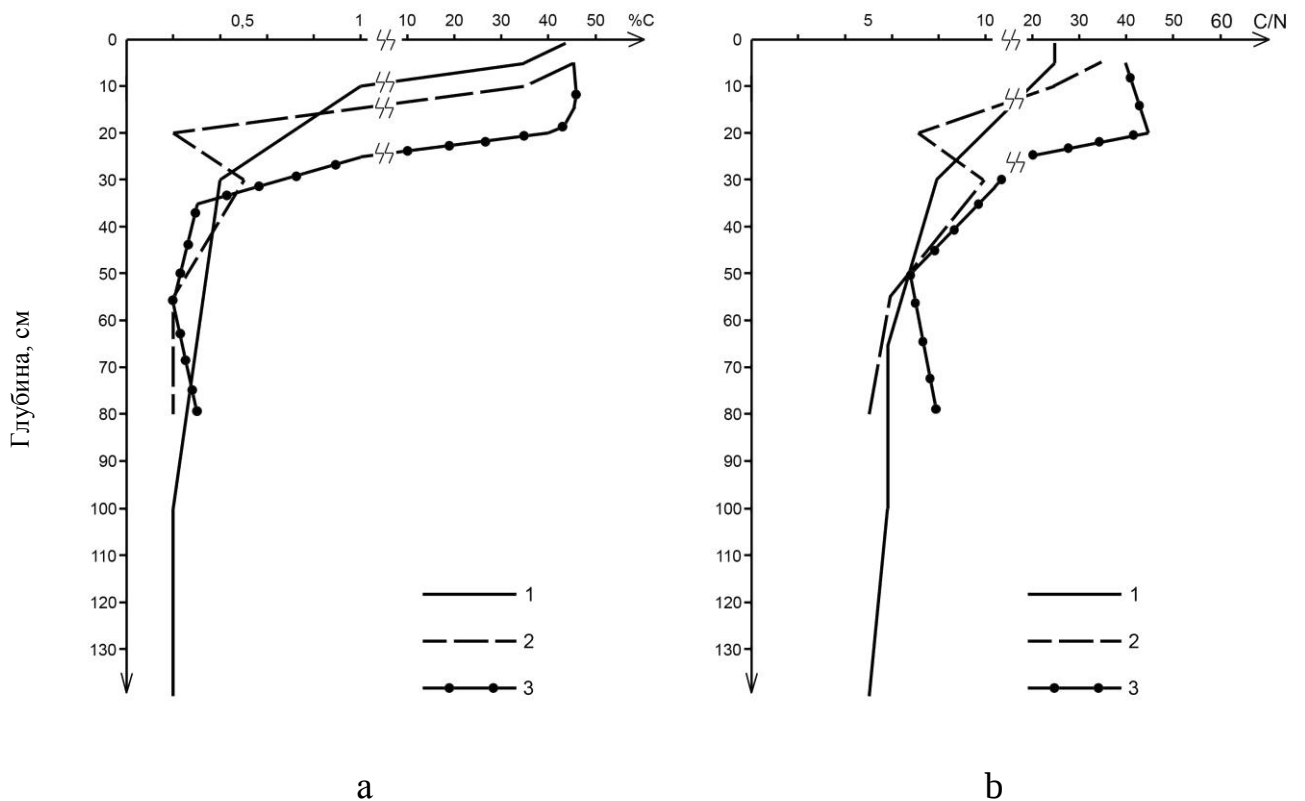


Рисунок 32 – Профильное изменение содержания общего органического углерода (а) и величины отношения C/N (б) в почвах лесотундры: 1 – светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый; 2 – светлозем потечно-гумусовый глееватый мелкоторфянистый; 3 – светлозем потечно-гумусовый глееватый торфянистый

Для почв лесотундры также характерно преобладание подвижного фульватного типа гумуса, поступающего из подстилки с формированием органо-минеральных альфегумусовых соединений (Атлас почв..., 2010). В автоморфной почве (Р-4-1) активная аккумуляция альфегумусовых соединений происходит в иллювиально-железистом горизонте В_Г микропрофиля подзола (рисунок 33а), в полугидроморфных условиях (рисунки 33б, 33с) накопление органо-минеральных соединений железа идет в нижней части профиля почв (приложение В, таблица 5).

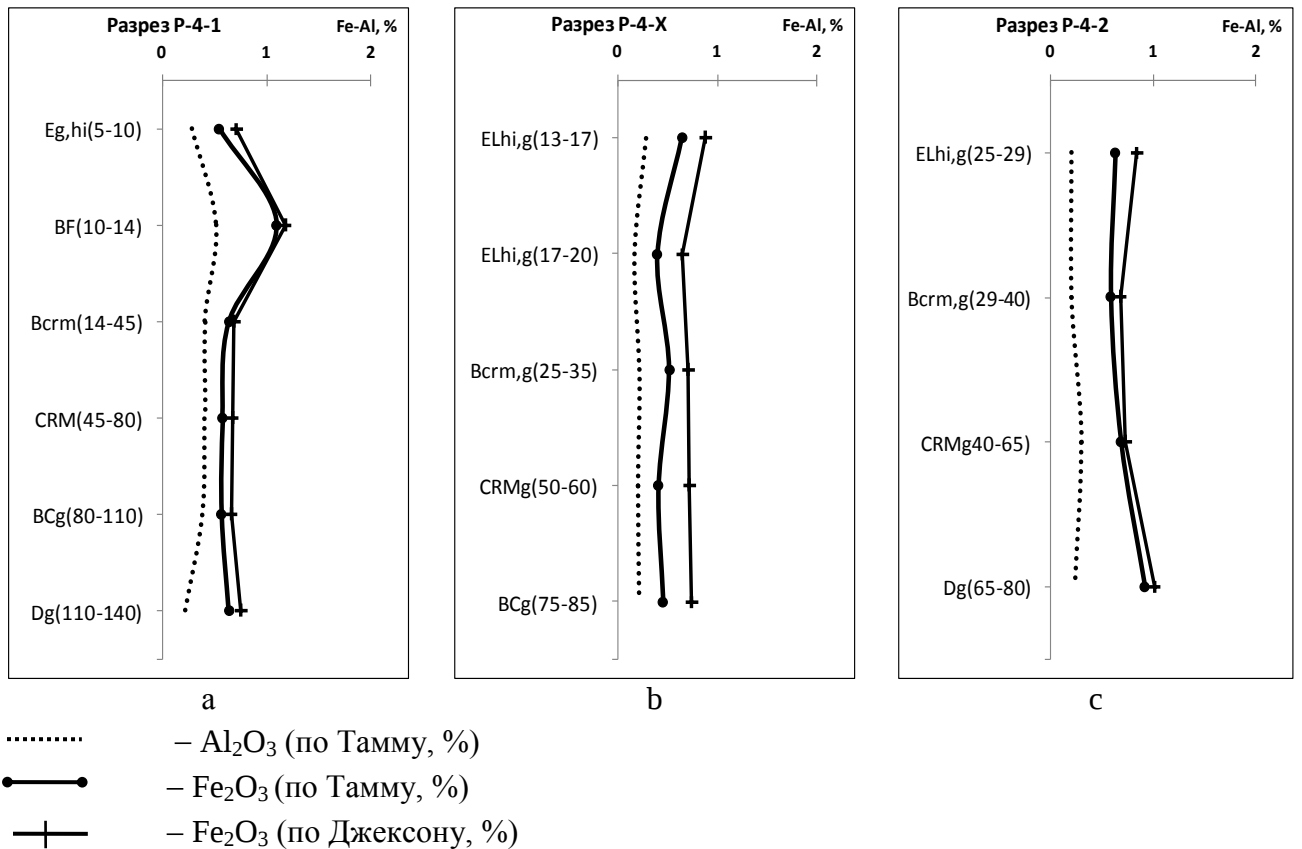


Рисунок 33 – Распределение оксалат- и дитионитрастворимых форм соединений железа и алюминия в профиле почв лесотундры (Участок КУ-V).
Под буквами а, б, с те же почвы, что на рисунке 28

Таким образом, общими свойствами для всех исследуемых почв, как в таежной зоне, так и в лесотундре, являются: высокая кислотность, выщелоченность обменных оснований, фульватный тип гумуса, обеднение элювиального горизонта илстой фракцией и полуторными оксидами. В результате заторможенности биохимических процессов в условиях Севера гумусовые вещества таежных почв отличаются агрессивностью, подвижностью, высоким содержанием ненасыщенных низкомолекулярных органических кислот (Шамрикова, 2013). Эти соединения могут мигрировать по профилю почвы на значительную глубину за счет образования органо-минеральных комплексных соединений с ионами железа и алюминия (Орлов, 1990; Структурно-функциональная..., 2001; Шамрикова, 2013). С повышением гидроморфизма почв несколько увеличивается их кислотность, вследствие торфообразования и более интенсивного поступления в минеральную часть почвенного профиля подвижных органических веществ

фульватной природы и низкомолекулярных агрессивных органических кислот. В то же время активно протекающие процессы оглеения в условиях периодического застоя влаги способствуют ухудшению агрегатного состояния полугидроморфных почв, вследствие более интенсивного разрушения защитных железистых пленок с поверхности микроагрегатов. Нарастание переувлажнения, переход гидрологического режима почв от промывного (в автоморфных позициях) к застойному (в понижениях рельефа) водному режиму, затрудняет протекание подзолистого процесса, замедляя элювиальный вынос биогенных элементов, продуктов разрушения минералов, илистых частиц и подвижных альфегумусовых соединений, при одновременном поступлении этих элементов с латеральным стоком с более высоких позиций рельефа.

Возрастание гидроморфизма почв оказывает определенное влияние и на температурный режим почв. Почвы, формирующиеся в более влажных условиях, характеризуются развитием мощного подстильно-торфяного горизонта. Его наличие в сочетании с большей мощностью образующегося здесь в зимний период снежного покрова в целом повышают теплоизоляционные свойства полугидроморфных почв, предохраняя их от длительного промерзания и значительных перепадов температур.

Отличительные черты в рассмотренных рядах исследуемых почв изначально во многом обусловлены подзональными особенностями автоморфных почв. Профиль текстурно-дифференцированных почв южной и средней тайги характеризуется наличием элювиального (EL) горизонта в верхней части и текстурного с хорошо выраженной призматической структурой (BT) – в срединной части профиля. Профиль светлосемов северной-, крайнесеверной тайги и лесотундры формируется под влиянием подзолистого процесса в сочетании с криометаморфическим оструктуриванием минеральной массы, в ходе которого образуется специфичная угловато-крупитчатая структура (CRM – горизонт). Текстуальный горизонт может быть либо слабо выражен, либо отсутствовать (Тонконогов,

2010). Морфологическое строение светлоземов, формирующихся в автоморфных условиях, характеризуется появлением под подзолистым горизонтом специфичных иллювиально-железистых горизонтов BHF и BF со значительным накоплением оксалат- и дитионитрастворимых соединений железа.

К северу от территории распространения подзолистых текстурно-дифференцированных почв (средняя тайга) становятся более выраженными процессы поверхностного оглеения, повышается потечность гумуса, что определяет развитие в автоморфных условиях светлоземов иллювиально-железистых потечно-гумусовых поверхностно-глееватых и глееватых. В профиле полугидроморфных светлоземов эти процессы сохраняются и усиливаются, кроме того становятся более выраженными признаки тиксотропии и плавунности. В этих условиях формируются светлоземы потечно-гумусовые глееватые мелкоторфянистые и торфянистые. В полугидроморфных разностях светлоземов в связи с более длительным застойным переувлажнением происходит глеевая мобилизация и более глубокая альфегумусовая миграция этих соединений из верхней супесчаной толщи в нижележащие слои, в связи с чем формирование горизонтов BHF и BF не происходит.

В южном направлении от подзоны средней тайги в результате развития травяного яруса под пологом еловых лесов в профиле почв отмечается развитие дерново-аккумулятивного процесса, сопровождающегося образованием менее агрессивного гуматно-фульватного типа гумуса с возрастанием в его составе содержания фракции гуминовых кислот, предположительно связанных с кальцием (Канев, 2002). Активное накопление биогенных элементов и гуматно-фульватного гумуса происходит также и в профиле полугидроморфных дерново-подзолистых текстурно-дифференцированных почв, благодаря латеральному поступлению веществ с автоморфных позиций.

В текстурно-дифференцированных почвах южной и средней тайги,

отрицательное влияние нарастания гидроморфизма на агрегатное состояние почв сказывается только в верхних подзолистых горизонтах. В светлосемах усиление влажности почв приводит к ухудшению агрегатного состояния не только в верхних элювиальных горизонтах, но и в нижележащих криометаморфических горизонтах (CRM), где вследствие повышенной влажности четкость и прочность структурных отдельностей значительно снижаются. Кроме того, в полугидроморфных текстурно-дифференцированных почвах южной и средней тайги, в отличие от светлосемов, сохраняется значительная дифференциация профиля по содержанию обменных оснований, илистой фракции и полутонких оксидов.

4.2 Реологические свойства таежных автоморфных и полугидроморфных почв

4.2.1 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв южной тайги

Результаты изучения реологических свойств почв южной тайги представлены в приложении Г (таблица 1), а также на рисунках 34 и 35. В почвах вершины (разрез Л-2) и склона (разрез Л-1) увала наиболее прочные межчастичные контакты (G' до $1,00 \cdot 10^6$ – $1,23 \cdot 10^6$ Па) (рисунки 34а, 34б) формируются в верхней части профиля почв (горизонты АУ(АУg), ЕL(ЕLg), ВЕL(ВЕLg)), в области накопления гумуса, низкомолекулярных органических веществ и органо-минеральных альфегумусовых соединений (рисунки 34а, 34б). Содержание железа по Тамму в серо-гумусовом горизонте (АУ) автоморфной почвы (Л-2) достигает 1,39 %, в полугидроморфной почве (Л-1) до 1,41 %. Повышение прочности связи, с одной стороны, обусловлено влиянием подвижных форм альфегумусовых соединений, которые обволакивают частицы почв, способствуя созданию прочных и жестких «мостиков» в местах контактов между минеральными частицами.

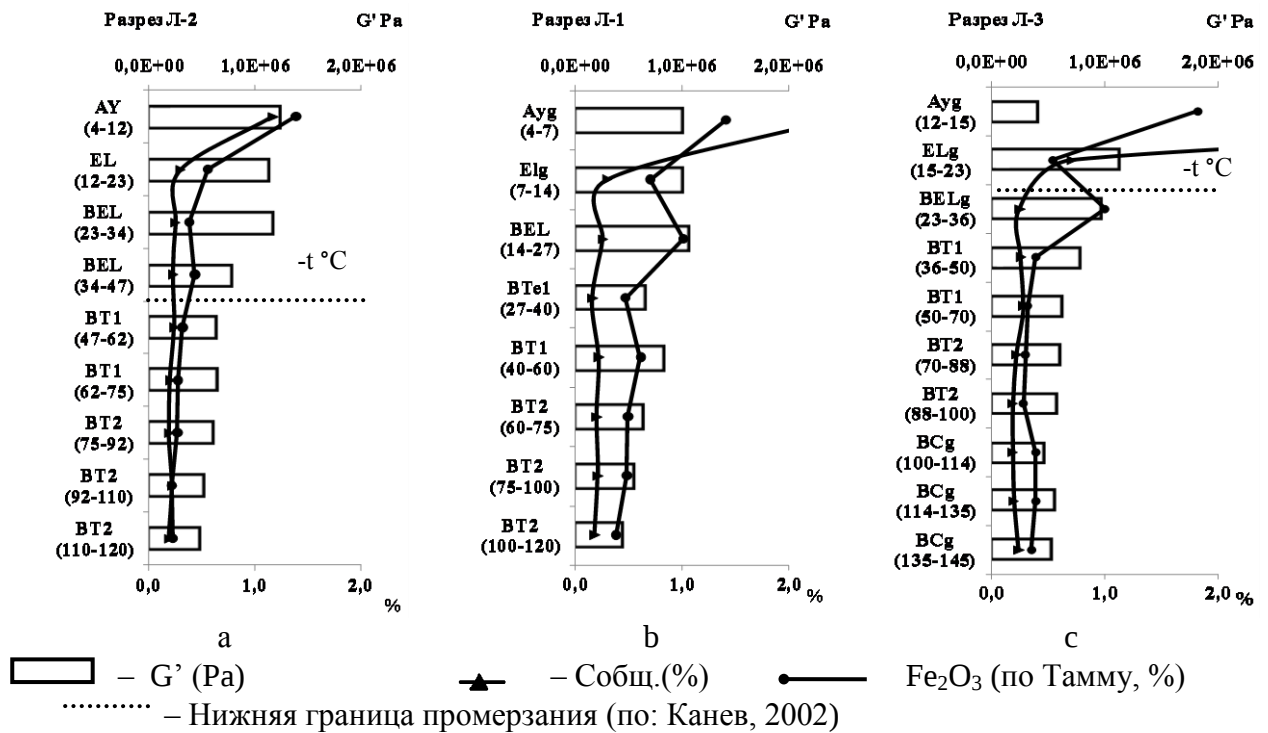


Рисунок 34 – Изменение значений модуля упругости - G' (Pa), содержания общего углерода Собщ , (%) и оксалатрастворимых форм Fe_2O_3 (%) (по Тамму) в профиле почв южной тайги (КУ-I). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 4

С другой стороны, существенный вклад в повышение прочности межчастичных контактов в исследуемых дерново-подзолистых почвах может вносить сезонное промерзание. Промораживание почв способствует уплотнению частиц и формированию более прочных конденсационных типов межчастичных контактов (Абрукова, Манучаров., 1986; Khaydarova et al., 2018; Холопов и др., 2018б). Как указывалось выше, по данным температурных наблюдений на конец 80-х годов (Канев, 2002) максимальная глубина промерзания почв на данном ключевом участке (КУ-I) в разные годы достигала 30–55 см. При этом, несмотря на возможное ослабление в настоящее время (IPCC, Climate Change..., 2014) интенсивности промерзания исследуемых дерново-подзолистых почв, влияние фактора промерзания на их реологические свойства не следует исключать.

Альфегумусовая пропитка, а также процессы промерзания способствуют созданию прочных, но более хрупких межчастичных связей, которые легко разрушаются и слабо восстанавливаются при механическом

воздействии. На это указывает узкий диапазон упругости (фиксируемый по параллельному ходу кривой G' в области линейной вязкоупругости LVE-range) и пластичности (определяемый по пересечению (CROSSOVER) модулей упругости и вязкости ($G'=G''$) почвенной системы. В автоморфных условиях (Л-2) максимальные значения G' до $1,23 \cdot 10^6$ Па отмечаются в серо-гумусовом горизонте АУ при уровне пластичности (CROSSOVER) 1,57 % (Рисунок 35а). Аналогичная закономерность наблюдается и в серо-гумусовом горизонте АУg полугидроморфной почвы (Л-1), где при значениях модуля упругости G' до $9,98 \cdot 10^5$ Па уровень пластичности (CROSSOVER) всего 1,88 % (рисунок 35b).

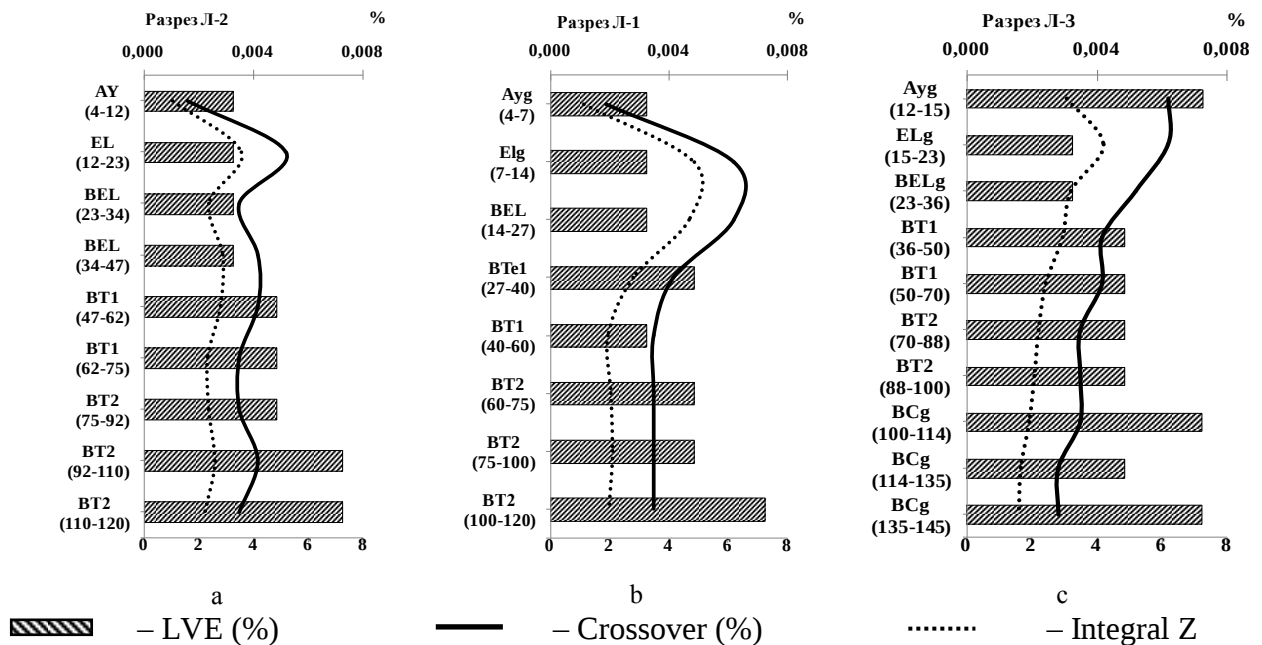


Рисунок 35 – Изменение значений упругой деформации (LVE, %), величины пластичности (Crossover, %) и показателя структурной устойчивости (Integral Z) в профиле почв южной тайги (КУ-I). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 4

Однако, ниже по профилю в эллювиальных горизонтах (EL, BEL) происходит резкое увеличение пластичности до 5,18 % (Л-2) – 6,19 % (Л-1), что может быть обусловлено повышенным трением выветрелых и диспергированных минеральных частиц в процессе оподзоливания и промораживания (Лепорский и др., 1990; Соколова и др., 1983). Серо-гумусовый горизонт АУg дерново-подзолистей глеевой почвы (разрез Л-3),

несмотря на наиболее высокое содержание альфегумусовых соединений (железо по Тамму до 1,82 %), отличается сочетанием крайне низкой прочности ($4,04 \cdot 10^5$ Pa) с высокими значениями упругой (LVE-range) 0,007 % и пластичной (CROSSOVER) 6,21 % деформации (рисунок 35с). Такой результат обусловлен повышенным содержанием слаборазложившихся органических остатков, количество общего углерода в горизонте АУg достигает 9,2 %. В аналогичных горизонтах АУ(АУg) почв, формирующихся на вершине (Л-2) и склоне (Л-1) увала, содержание общего углерода составляет 1,17 % и 2,4 % соответственно. Сцепленные органические компоненты действуют подобно пружине, увеличивая упругое сопротивление почвы. Однако при этом значительно теряется общая жесткость структуры или прочность межчастичных контактов (G'). Кроме того, высокое содержание слаборазложившихся растительных остатков способствует повышенному накоплению влаги, которая обволакивает минеральные почвенные частицы, увеличивая расстояние между ними и ослабляя тем самым межчастичное взаимодействие (Хайдапова и др., 2016). Поверхностные пленки влаги за счет сил поверхностного натяжения увеличивают упругое сопротивление почвы (LVE-range) в начале деформационного воздействия, при преодолении которого (по мере увеличения нагрузки) система переходит в упруго-вязкое или пластичное состояние.

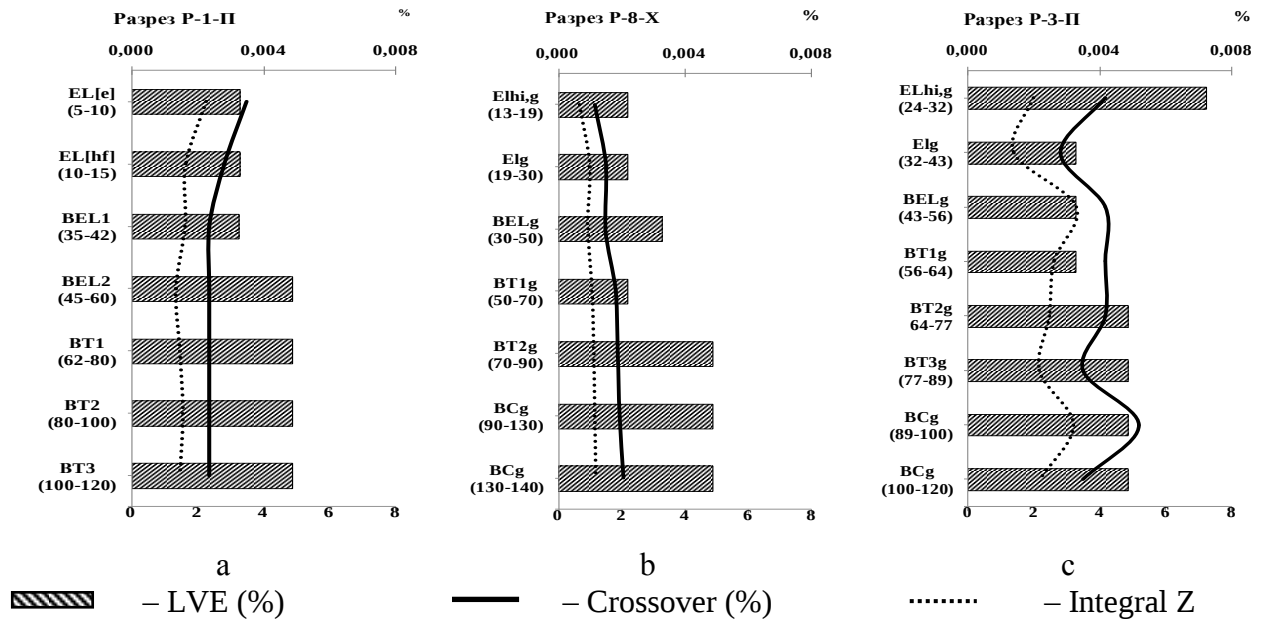
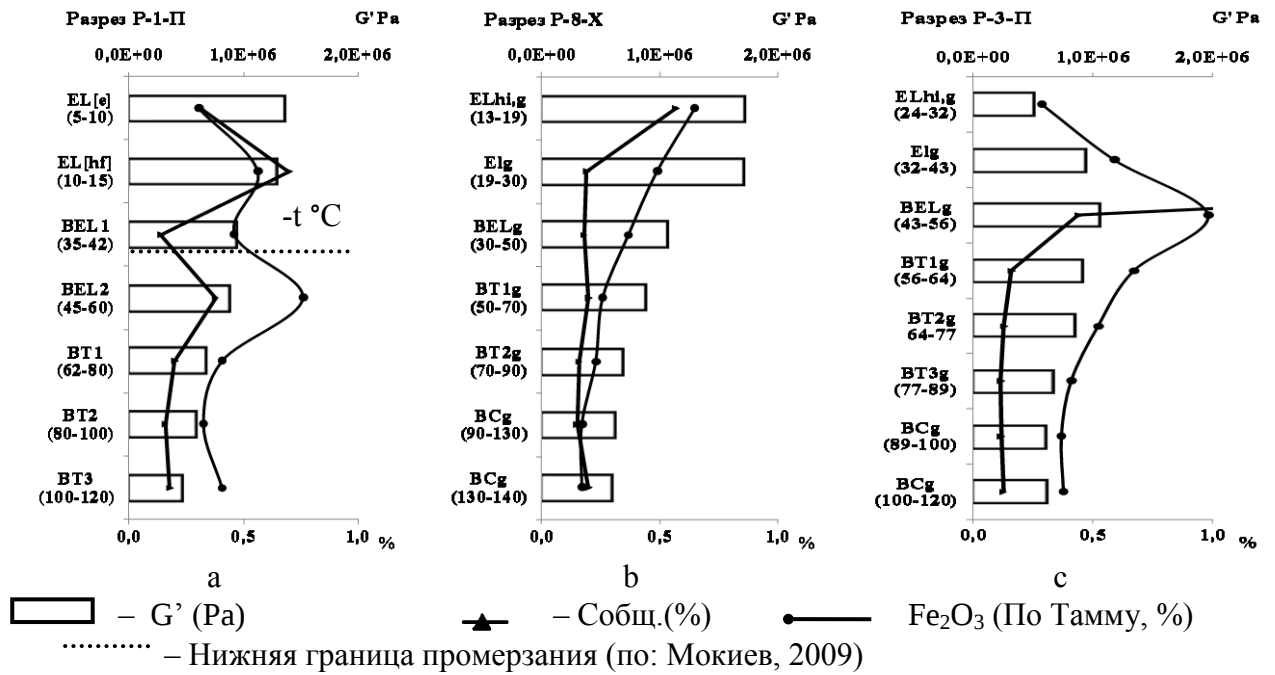
Высокая прочность контактов (G') постепенно ослабляется к низу профиля до $4,41 \cdot 10^5$ Pa, величины пластичности (CROSSOVER) при этом выходят на средние по профилю значения 3,48 %. В то же время значения упругой деформации (LVE-range), наоборот, увеличиваются от 0,00328 % в горизонте АУ(АУg) до 0,00726 % в горизонтах ВТ и ВСg. Такое изменение реологических свойств обусловлено постепенным ослаблением вниз по профилю педогенных факторов и проявлением в большей степени реологических свойств, связанных (опосредованно) с гранулометрическим и минералогическим составом почвообразующей породы. Текстуальный

горизонт ВТ и материнская порода ВСg отличаются более тяжелым гранулометрическим составом, высокой степенью насыщенности основаниями (приложение В, таблица 1), способствующим повышенному накоплению влаги. Присутствие влаги увеличивает расстояние между почвенными частицами, ослабляя тем самым межчастичное взаимодействие (Хайдапова и др., 2016). Показатель структурной устойчивости в почвах таежной зоны во многом зависит от величин пластичности (рисунок 35) и, возможно, не всегда адекватно отражает реальное структурное состояние почв. Таким образом, в верхней части профиля исследуемых почв участка КУ-I, структурная устойчивость несмотря на высокие показатели в подзолистом горизонте, ограничивается хрупкостью формирующихся контактов с низкими упругими свойствами. Наиболее устойчивыми свойствами к механическим нагрузкам являются иллювиальные текстурные горизонты (ВТ), а также серо-гумусовый горизонт (АУg) полугидроморфной почвы Л-3, отличающийся высоким содержанием грубого гумуса.

4.2.2 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв средней тайги

Реологические свойства исследуемых почв средней тайги представлены на рисунках 36 и 37. Наиболее прочные межчастичные взаимодействия ($G' 1,36 \cdot 10^6 - 1,71 \cdot 10^6$ Па) формируются в верхних элювиальных горизонтах (ЕL, ELhi,g, ELg) почв, развитых на вершине и склоне увала, – подзолистой с микропрофилем подзола текстурно-дифференцированной (рисунок 36a) и торфяно-подзолисто-глеевой мелкоторфянистой (рисунок 36b).

Аналогично почвам участка КУ-I, повышенная прочность почвенных контактов обусловлена накоплением альфегумусовых соединений, а также процессами промерзания, которые способствуют формированию прочных конденсационных взаимодействий с низкими значениями упругого деформирования и пластичности.



В верхней части (до глубины 40-50 см) профиля автоморфной (P-1-II) и полугидроморфной почвы (P-8-X) значения упругости LVE-range не

превышают 0,00328 %, значения пластичности CROSSOVER находятся в пределах (1,1–3,4 %) (рисунки 37а, 37б). По данным почвенно-температурных наблюдений (Мокиев, 2009) промерзание почв на данном участке достигает 40 см в автоморфных условиях и до 24 см в полугидроморфных. Верхняя часть профиля торфяно-подзолисто-глеевой торфянистой почвы (Р-3-П), и особенно его горизонт ELhi,g (24–32 см), отличаются от почв вершины (Р-1-П) и склона (Р-8-Х) увала крайне низкой прочностью ($G' 5,07 \cdot 10^5$ Па) при высоких значениях упругой деформации (LVE 0,007 %) и пластичности (CROSSOVER 4,16 %) (рисунки 36с, 37с). Это обусловлено повышенным накоплением в данном горизонте грубого гумуса (Собщ. до 11,8 %), увеличивающего упругое сопротивление почвенных частиц в начале деформационного процесса при значительном снижении общей жесткости структуры или прочности межчастичных контактов (Хайдапова и др., 2016). Наиболее прочные контакты в профиле торфяно-подзолисто-глеевой торфянистой почвы (Р-3-П) формируются в горизонте BELg (43–56 см), который характеризуется высоким содержанием оксалатрастворимых форм железа (Fe_2O_3 по Тамму до 0,98 %).

Вниз по профилю всех исследуемых почв отмечается ослабление прочности межчастичных контактов ($G' - 4,65 \cdot 10^5$ Па) при возрастании значений упругой деформации (LVE – 0,00488 %), что связано с постепенным утяжелением гранулометрического состава породы. Как можно заметить профиль полугидроморфной почвы Р-3-П отличается повышенными показателями пластичности (CROSSOVER до – 3,48–5,18 %) и структурной устойчивости (Integral Z – 1,3–3,2) (рисунок 37). Для сравнения, в почвах вершины (Р-1-П) и склона (Р-8-Х) увала значения величины CROSSOVER находятся в пределах 1,48–3,48 %, значения Integral Z – 0,6–2,2. Повышенный показатель пластичности и соответственно Integral Z в полугидроморфной почве могут быть обусловлены слабой агрегированностью минеральной массы, вследствие постоянного переувлажнения. Переувлажнение, сопровождаемое интенсивными

процессами оглеения, приводит к значительной деградации почвенных агрегатов. При механическом воздействии эти агрегаты легко разрушаются до более мелких частиц, в результате чего увеличивается площадь межчастичных контактов, что при механических испытаниях проявляется в виде увеличения диапазона пластичности. Таким образом, аналогично почвам южной тайги (КУ-I), наиболее высокая структурная устойчивость к механическим нагрузкам в профиле почв средней тайги (КУ-II) характерна для текстурных горизонтов ВТ, а также для иллювиально-гумусового горизонта ELhi,g наиболее гидроморфной торфяно-подзолисто-глеевой текстурно-дифференцированной торфянистой почвы. В верхней части профиля почв структурная устойчивость ограничивается хрупкими свойствами почвенных контактов.

4.2.3 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв северной тайги

Данные реологических исследований ряда почв, исследованных на ключевом участке подзоны северной тайги (КУ-III), представлены на рисунках 38, 39.

В автоморфной почве (Р-3) наиболее прочные и упругие межчастичные контакты формируются в системе горизонтов Eg – ВНF – ВF ($2,28 \cdot 10^6$ – $3,66 \cdot 10^6$ Па). Об этом свидетельствуют высокие значения модуля упругости G' ($2,28 \cdot 10^6$ – $3,66 \cdot 10^6$ Па) и длительный параллельный ход кривой G' в области линейной вязкоупругости (значения LVE-range до 0,00328 %) (рисунки 37а, 38а). При этом можно отметить, что чем меньше содержание органических веществ и больше альфегумусовых соединений, тем уже диапазон пластичности (CROSSOVER), что указывает на появление хрупких свойств, в межчастичных почвенных взаимодействиях.

Подзолистый горизонт Eg (8–13 см) при сравнительно высокой прочности контактов ($G' = 2,28 \cdot 10^6$ Па) характеризуется наиболее высокими

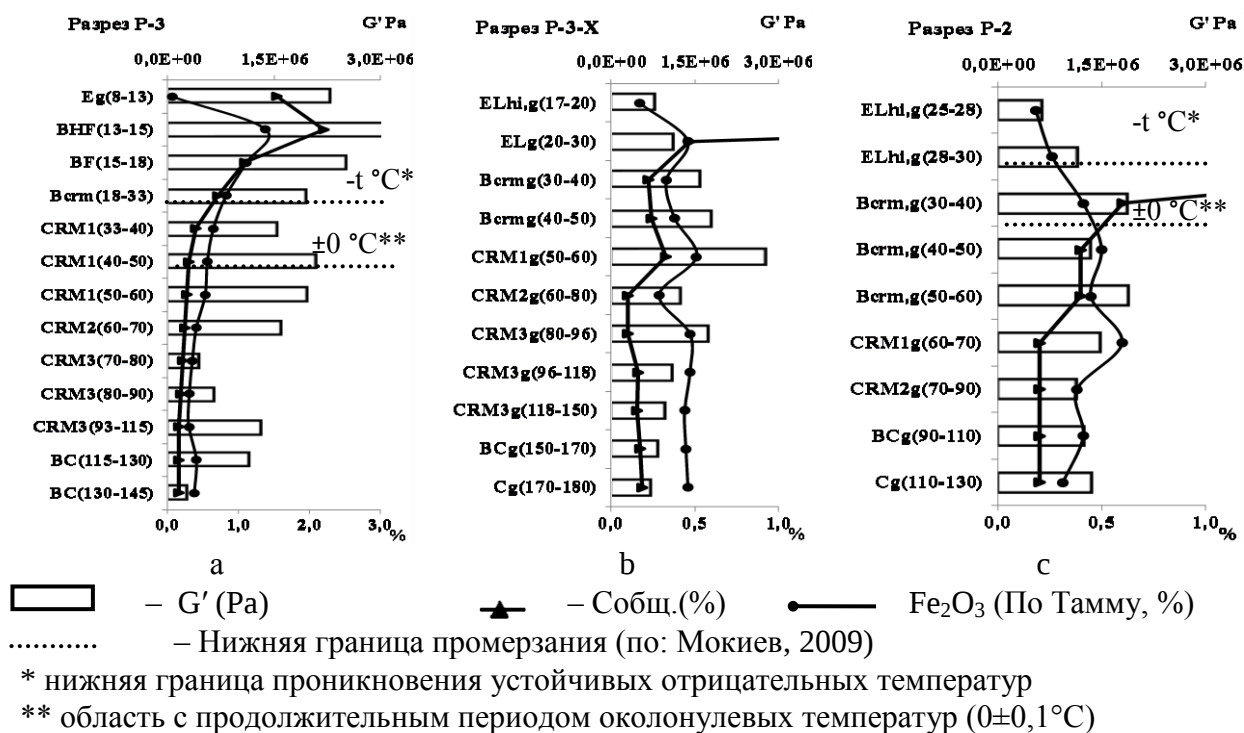


Рисунок 38 – Изменение значений модуля упругости (G' , Pa), содержания общего углерода (Собщ., %) и оксалатрастворимых форм Fe_2O_3 (По Тамму, %) в профиле почв северной тайги (КУ-III). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 16

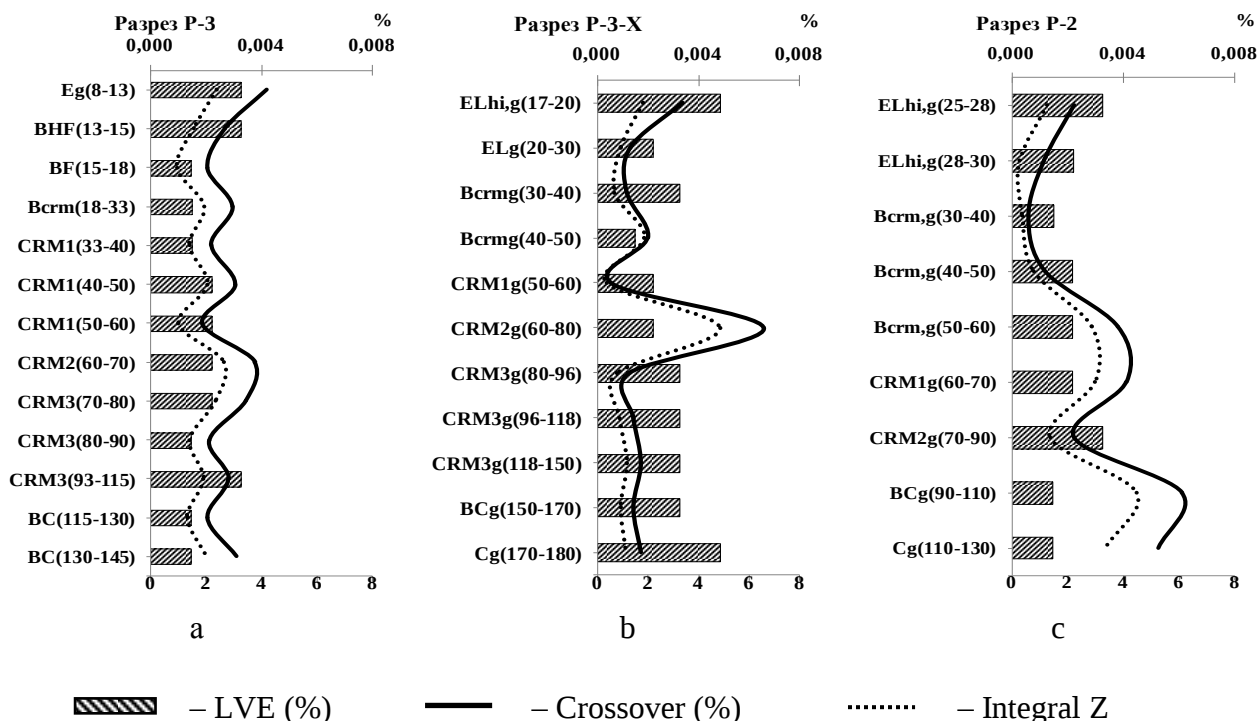


Рисунок 39 – Изменение значений упругой деформации (LVE, %), величины пластичности (Crossover, %) и показателя структурной устойчивости (Integral Z) в профиле почв северной тайги (КУ-III). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 16

значениями пластичности (величина CROSSOVER составляет 4,16 %) и упругости деформации LVE-range до – 0,00328 %. Такие свойства обусловлены сравнительно высоким содержанием здесь органических веществ (Собщ. = 1,54 %) при незначительном количестве альфегумусовых соединений (Fe_2O_3 по Тамму 0,07 %). В нижележащем иллювиально-гумусово-железистом горизонте ВНГ (13-15 см) активное накопление иллювиальных органических веществ (Собщ. = 2,2 %) и альфегумусовых соединений (Fe_2O_3 по Тамму 1,38%) обеспечивает наиболее высокие показатели прочности ($3,66 \cdot 10^6$ Па) и упругости (0,00328 %). В то же время значения пластичности снижаются здесь почти в два раза (2,68 %). Минеральная масса горизонта ВГ, который генетически является продолжением горизонта ВНГ, при достаточно высокой прочности контактов ($2,51 \cdot 10^6$ Па) отличается низкими величинами упругости LVE-range (0,00148 %) и пластичности CROSSOVER (2,026 %), что указывает на повышение хрупкости межчастичных контактов. Такой результат обусловлен снижением доли иллювиальных подвижных органических веществ (Собщ. = 1,09 %) при сохранении высокого уровня аккумуляции оксалатрастворимых форм соединений железа (Fe_2O_3 по Тамму 1,11 %). Эти результаты согласуются с данными Л.П. Абриковой (Абрикова, 1970), В.В. Абриковой, А.С. Манучарова (Абрикова, Манучаров, 1986), отмечавших связь между прочностью почвенных контактов и содержанием подвижных форм полуторных оксидов, а также с работами Н.А. Азовцевой с соавторами (Азовцева и др., 2017), подтверждающими значимую роль гумусовых веществ в повышении прочности контактов между глинистыми частицами.

Как было отмечено выше, повышение значений прочности почвенных контактов к северу таежной зоны обусловлено, помимо влияния альфегумусовых соединений, более выраженным воздействием криогенного фактора. Об этом свидетельствует наличие в профиле светлосема иллювиально-железистого поверхностно-глееватого (разрез Р-3) специфического криометаморфического оструктурирования минеральной массы

– формирование CRM-горизонтов. Как показали наши наблюдения за температурным режимом почв ключевого участка КУ-III (таблица 8), устойчивые отрицательные температуры в почве Р-3, формирующейся в автоморфных условиях, фиксировались до глубины 20–30 см с продолжительным периодом околонулевых температур ($0 \pm 0,1^\circ\text{C}$) на глубине 30–50 см. Таким образом, наиболее вероятно, что именно этим обстоятельством (промерзание и формирование фронта промерзания с длительным периодом «нулевой завесы») определяется некоторое повышение в профиле величин прочности G' до $2,08 \cdot 10^6$ Па на глубине 40–60 см (горизонт CRM1). Повышение прочности почвенных контактов при промораживании почв связано с дегидратацией и уплотнением почвенных частиц с формированием плотных конденсационных межчастичных взаимодействий (Абрукова, Манучаров, 1986). Возможно, этому в определенной степени способствует и диспергация гумусовых веществ, отмеченная при чередовании процессов промерзания-оттаивания (Дергачева, Дедков, 1977; Арчегова, 1979).

Вниз по профилю почвы Р-3 прочность контактов постепенно снижается, достигая минимальных значений величины G' ($2,50 \cdot 10^5$ Па) в материнской породе С. Значения упругости и пластичности варьируют в пределах 0,00148–0,00328 % (LVE-range) и 1,85–3,75 % (CROSSOVER) без общей тенденции к понижению или повышению, что обусловлено слабой дифференциацией профиля по содержанию илистых фракций и обменных оснований, в отличие от текстурно-дифференцированных почв южной и средней тайги. Вследствие низких значений пластичности показатель структурной устойчивости Integral Z в профиле почвы Р-3 не превышает – 2,62.

В полугидроморфном светлоземе мелкоторфянистом потечно-гумусовом глееватом (разрез Р-3-Х), сформированном в средней части увала, вследствие более глубокой глеево-иллювиальной миграции альфегумусовых соединений значения прочности контактов (G') достигают максимальных

величин (до $2,76 \cdot 10^6$ Pa) в горизонте CRM1g (50–60 см), отличающемся наиболее высоким в профиле данной почвы содержанием альфегумусовых комплексов (Fe_2O_3 по Тамму до 0,51 %). Не исключено, что увеличение прочности в средней части (50–60 см) профиля может быть связано с воздействием криогенного фактора. Подтверждением этому являются низкие значения упругости LVE-rang – 0,00222 % и пластичности CROSSOVER – 0,539 %, что говорит о повышенной хрупкости этих контактов. Как было отмечено ранее по температурному режиму полугидроморфные почвы участка КУ-III, в отличие от автоморфной почвы, являются более теплообеспеченными, тем не менее, промерзание в полугидроморфных условиях достигает глубины 20–30 см с формированием нулевой завесы до 40 см. Верхний потечно-гумусовый горизонт ELhi,g (17–20 см) характеризуется минимальными значениями прочности G' ($7,70 \cdot 10^5$ Pa) при высоких показателях упругой LVE-rang (0,00488 %) и пластичной CROSSOVER (3,365 %) деформации, вследствие повышенного содержания здесь слаборазложившихся органических остатков (Собщ.=7,8 %). Вниз по профилю почвы Р-3-Х, вследствие увеличения содержания частиц физической глины и, соответственно, повышенного влагопоглощения, прочность контактов постепенно снижается, достигая наименьших значений ($G'=7,03 \cdot 10^5$ Pa) в материнской породе Сg. При этом значения упругости LVE-rang, наоборот, вниз по профилю увеличиваются до максимального уровня – 0,00488 %, что, вероятно, обусловлено различной формой глинистых частиц (Вялов, 1978). Вместе с тем, несмотря на более тяжелый гранулометрический состав, нижняя часть профиля светлосема мелкоторфянистого потечно-гумусового глееватого (Р-3-Х) характеризуется крайне низкими значениями пластичности межчастичных контактов (1,21–1,718 %), что, возможно, обусловлено компенсационным влиянием окристаллизованных форм соединений железа (Fe_2O_3 по Джексону), органо-минеральные пленки которых обволакивают минеральные частицы, увеличивая площадь упруго-хрупких контактов. Исключением является

переходный по гранулометрическому составу горизонт CRM2g (60–80 см), где величина пластичности достигает наиболее высоких значений – 6,589 %, что отражается и на высоких показателях структурного взаимодействия (Integral Z – 4,84). Однако повышенная пластичность этого горизонта, вероятно, обусловлена более интенсивным разрушением микроагрегатов со слабыми внутриагрегатными связями. Деграция микроагрегатов в горизонте CRM2g (60–80 см) связана с активным выносом оксалатрастворимых форм железа в результате усиления процессов оглеения при переувлажнении (рисунок 24). Морфологическое описание указывает на появление на данной глубине 50–65 см профиля P-3-X верховодки, которая сохраняется здесь вследствие утяжеления гранулометрического состава породы нижележащих горизонтов. Интенсивный распад микроагрегатов способствует резкому увеличению количества частиц и соответственно площади контактов между ними, что отражается на увеличении пластичности (Хайдапова и др., 2014).

Реологическое поведение полугидроморфной почвы, расположенной в наиболее влажных условиях (светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый, разрез P-2) имеет сходные характеристики с почвой светлосема мелкоторфянистого (P-3-X) вследствие близких гидротермических условий формирования. Прочность межчастичных контактов усиливается от верхней к средней части профиля достигая максимальных значений ($G'=1,87 \cdot 10^6$ Па) в горизонте Bcm,g (30–60 см) (рисунок 27). Это обусловлено активным накоплением здесь альфегумусовых соединений (Fe_2O_3 по Тамму до 0,50 %), а также, возможно, воздействием криогенного фактора. В то же время значения диапазона линейной вязкоупругости LVE-rang имеют наиболее высокие величины (0,00328 %) в верхней части потечно-гумусового горизонта ELhi,g (25–28 см) с наиболее высоким содержанием свободных органических веществ и слаборазложившихся остатков Собщ.=7,6 %. Вниз по профилю (P-2) значения упругой деформации LVE-rang постепенно снижаются, достигая минимальных значений – 0,00148 % в материнской

породе BCg (90–130 см). Минимальные значения пластичности CROSSOVER – 0,57 % наблюдаются в верхней части профиля P-2 – в горизонте Bcrn,g (30–60 см), что говорит о повышенной хрупкости почвенных контактов, сформированных под влиянием глеево-иллювиального альфегумусового накопления. Однако, уже с глубины 40–50 см влияние процессов поверхностного оглеения постепенно снижается, отражаясь на значительном росте предела пластичности. В горизонте BCg отмечены максимальные значения предела пластичности (6,105 %) и уровня структурного взаимодействия Integral Z – 4,48. Однако, увеличение пластичности и соответственно показателя Integral Z здесь обусловлено слабыми внутриагрегатными связями и более активным разрушением микроагрегатов, аналогично горизонту CRM2g (60–80 см) в профиле почвы, скрытой разрезом P-3-X.

Таким образом, при длительном застойном переувлажнении светлосезмов происходит более глубокая глеевая мобилизация альфегумусовых соединений, органоминеральные пленки которых обволакивают почвенные частицы, определяя тем самым прочные, но очень хрупкие межчастичные контакты. В реологические свойства верхней и средней части профиля рассматриваемых почв определенный вклад вносит сезонное промерзание, а также формирование «нулевой завесы» с околонулевыми температурами (до $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$) ниже границы промерзания (до глубины около 50 см), под действием которого микроструктурные взаимодействия смещаются в сторону более хрупких и менее устойчивых взаимодействий.

4.2.4 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв крайнесеверной тайги

Реологические свойства почв катены, рассмотренной нами в пределах крайнесеверной тайги – ключевой участок КУ-IV, представлены на рисунках 40, 41. В профиле автоморфной почвы (P-39) прочность межчастичных

взаимодействий увеличивается от верхней к средней части профиля (рисунок 40a). Аналогично северотаежному светлозему (КУ-III), в системе иллювиально-(гумусово)-железистых горизонтов микропрофиля подзола ВНФ-ВФ в светлоседе иллювиально-железистом потечно-гумусовом поверхностно-глееватом участка КУ-IV, повышенная прочность межчастичных контактов (значения модуля упругости G' $1,84 \cdot 10^6$ – $1,52 \cdot 10^6$ Па) сочетается с минимальными значениями пластичности (CROSSOVER 1,01–1,22%) и низкими показателями упругости (LVE-range 0,00149–0,0015 %) (рисунок 41a). Это сопряжено с повышенным накоплением органических веществ (Собщ. 2,6–1,47 %) с комплексными альфегумусовыми соединениями железа (Fe_2O_3 по Тамму 1,32–0,95 %), которые цементируют почвенные частицы в более жесткую, но хрупкую структуру (Холопов и др., 2018б).

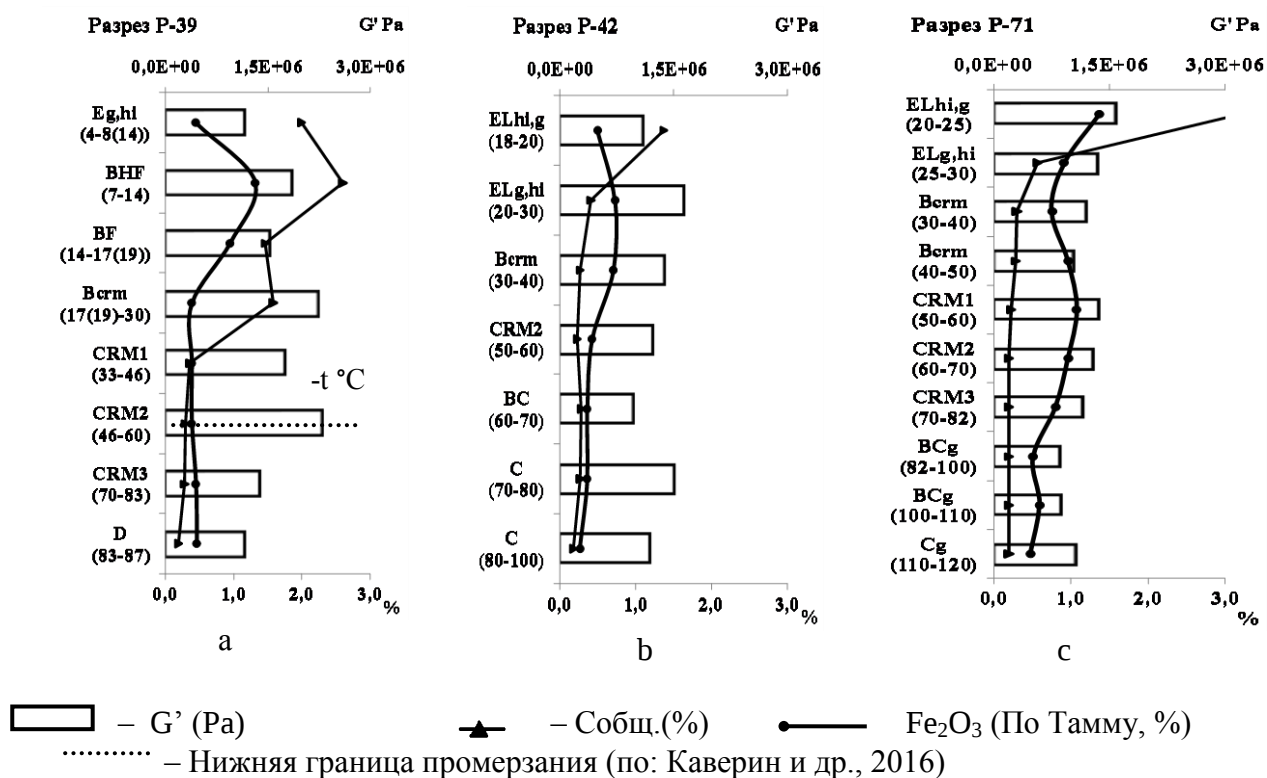


Рисунок 40 – Изменение значений модуля упругости (G' , Па), содержания общего углерода (Собщ., %) и оксалатрастворимых форм Fe_2O_3 (по Тамму, %) в профиле почв крайнесеверной тайги (КУ-IV). Под буквами а, б, с те же почвы, что на рисунке 22

Максимальные значения прочности межчастичных контактов (G' до $2,29 \cdot 10^6$ Па) зафиксированы в средней части профиля почвы Р-39, в

криометаморфических горизонта Bcrn (17–30 см), CRM1 (33–46 см) CRM2 (46–60 см). Аналогично автоморфной почве участка КУ-III, наиболее вероятно, что это повышение прочности обусловлено процессами промерзания с формированием зоны с длительной нулевой завесой, так как в этих горизонтах, с одной стороны, не происходит накопления железа, а с другой, высокое содержание илистых и глинистых частиц (Рисунок 23а), что должно приводить к снижению жесткости контактов. Данные почвенно-температурных наблюдений (Каверин и др., 2016) подтверждают роль криогенного фактора. Мощность промерзания почв (включая зону с околонулевыми температурами $+0,1...-0,1$ °C) в крайнесеверной тайге достигает 50 см.

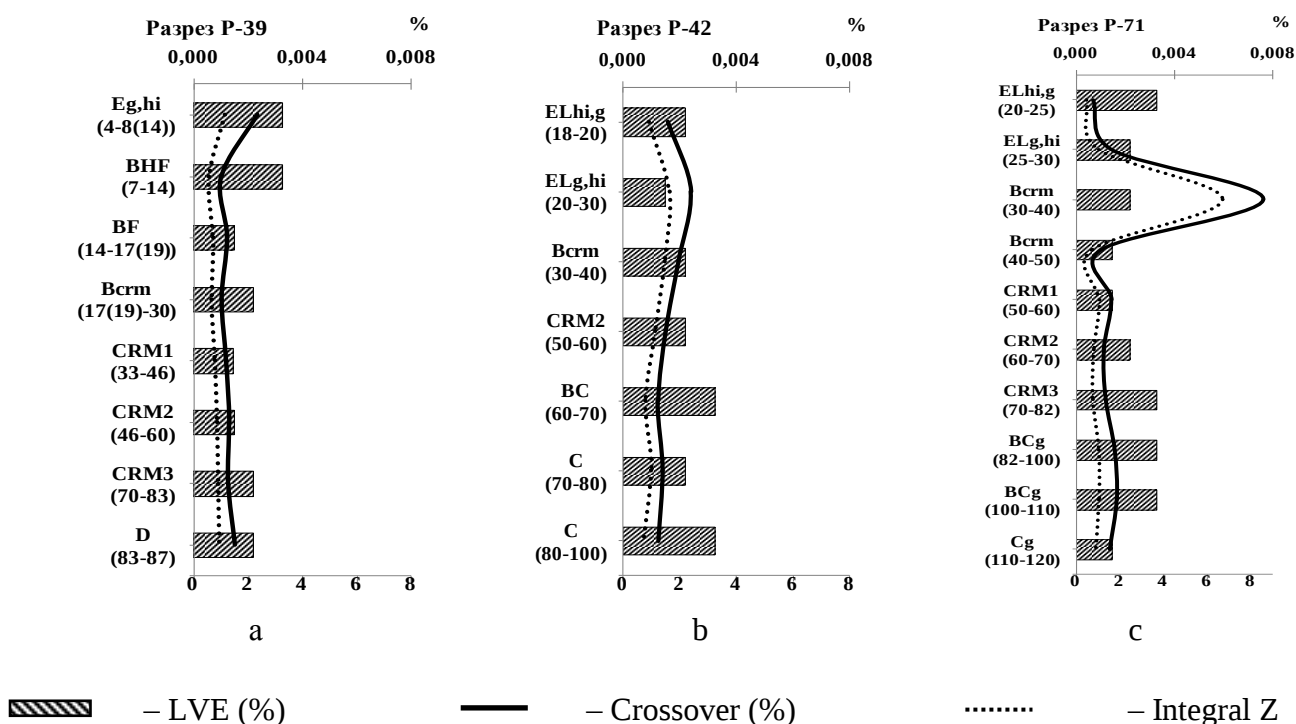


Рисунок 41 – Изменение значений упругой деформации (LVE, %), величины пластичности (Crossover, %) и показателя структурной устойчивости (Integral Z) в профиле почв крайнесеверной тайги (КУ-IV). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 22

Длится этот период в течение 3,5 месяцев. Вниз по профилю величины прочности (G') убывают до $1,16 \cdot 10^6$ Па, диапазон пластичности и упругости при этом остаются на постоянно низком уровне: величины CROSSOVER в

пределах 1,222–1,492 %, значения LVE-range – 0,00148–0,00328 %, вследствие слабой дифференциации профиля P-39 по илу, а также низкого содержания в породе обменных оснований.

В полугидроморфных условиях (разрезы P-42 и P-71) увеличение прочности наблюдается в верхней и средней части профиля (рисунки 40b, 40c, 41b, 41c), что в большей степени обусловлено глубокой глее-альфегумусовой миграцией органоминеральных соединений железа. Подобное поведение отмечалось и для полугидроморфных почв северной тайги (КУ-III). В профиле почвы P-42 наиболее высокие показатели прочности контактов (G' до $1,58 \cdot 10^6$ Па) характерны для горизонтов ELhi,g (20–30 см) и Bcgm (30–40с м), характеризующихся наиболее высоким накоплением оксалатрастворимых форм железа (Fe_2O_3 по Тамму до 0,73 %). В профиле P-71 аналогичное увеличение прочности происходит в горизонтах ELhi,g (20–30 см) и CRM1 (50–60 см). Дополнительных почвенно-температурных наблюдений в полугидроморфных условиях крайнесеверной тайги не проводилось, однако можно предположить, что фактор промерзания, вероятно, также оказывает воздействие на увеличение прочности в средней части профиля полугидроморфных почв P-42 и P-71, а именно в горизонтах Bcgm и CRM. Показатели упругости и пластичности в профиле P-42 и P-71 не превышают LVE-range – 0,003 % и CROSSOVER – 2,3 %, что говорит о преобладании упруго-хрупких межчастичных взаимодействий. Наиболее высокие значения пластичности CROSSOVER – 8,5 %, зафиксированы в горизонте Belg (30–40 см) профиля P-71, что, вероятно, связано с более интенсивным распадом почвенных микроагрегатов со слабыми внутриагрегатными связями, чему способствует низкое содержание в данном горизонте илистой фракции ($< 0,001$) – до 12 % (рисунки 23b, 23c), склеивающей почвенные частицы в более крупные образования.

4.2.5 Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв лесотундры

В профиле автоморфной почвы лесотундры (разрез Р-4-1) наиболее прочные контакты, с максимальными значениями модуля упругости G' до $2,64 \cdot 10^6$ Па (рисунок 42а), зафиксированы в верхней (горизонты Eg,hi (5–10 см) и BF (10–15 см)) и средней (Berm (14–45 см)) частях профиля. Как и в почвах северной (КУ-III) и крайнесеверной тайги (КУ-IV), это обусловлено накоплением органических веществ иллювиальной природы (Собщ. 1,03 %) и органо-минеральных альфегумусовых соединений (Fe_2O_3 по Тамму 1,10 %), а также наиболее интенсивным промерзанием почв в биоклиматических условиях лесотундры. По данным почвенно-температурных наблюдений мощность промерзания автоморфных почв в зоне лесотундры, включая зону с околонулевыми температурами $+0,1 \dots -0,1$ °C, достигает 50 см в течение 6–6,5 месяцев (Каверин и др., 2016).

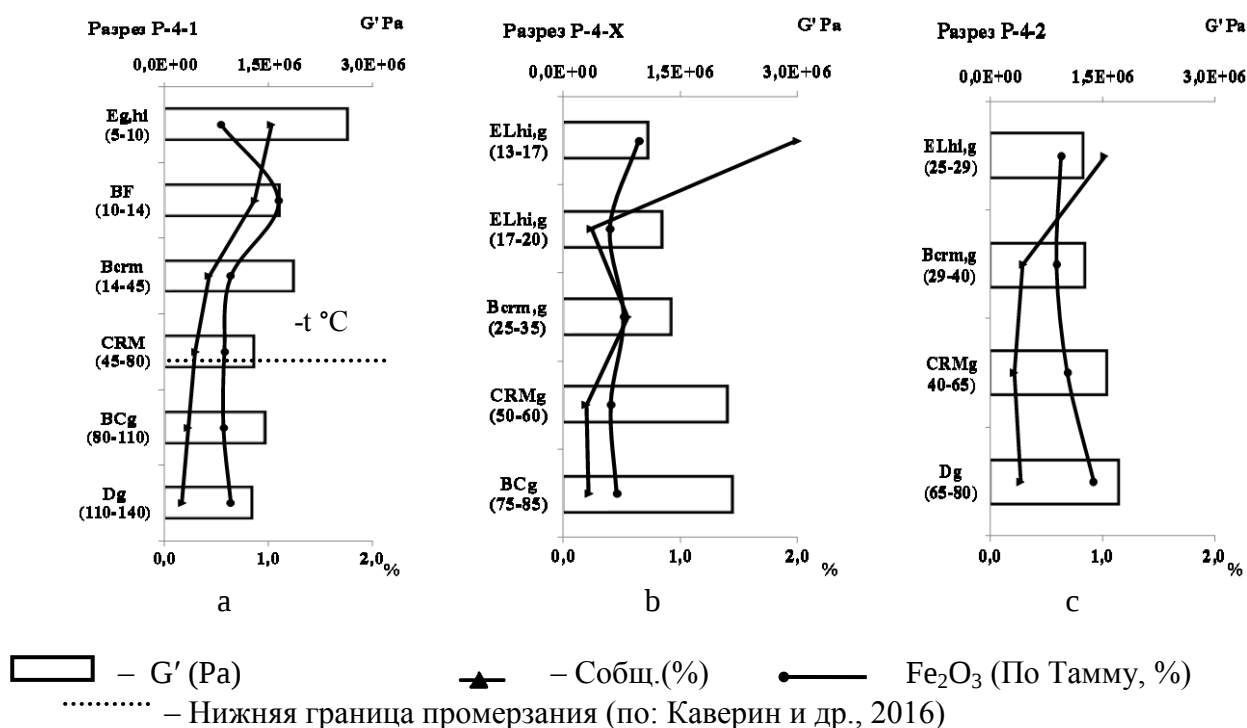


Рисунок 42 – Изменение значений модуля упругости (G' , Па), содержания общего углерода (Собщ., %) и оксалатрастворимых форм Fe_2O_3 (по Тамму, %) в профиле почв лесотундры (КУ-V). Под буквами а, б, с те же почвы, что на рисунке 28

Как отмечалось ранее, альфегумусовая пропитка и процессы промораживания смещают почвенные контакты в верхних горизонтах профиля почвы Р-4-1 (горизонты Eg,hi (5–10 см) и BF (10–15 см)) в сторону

более хрупких взаимодействий. На это указывают минимальные величины в этих горизонтах упругости LVE-range (0,001 %) и пластичности CROSSOVER (0,9 %) (рисунок 43а). Вниз по профилю разреза Р-4-1 значения прочности контактов (G') постепенно убывают, при этом величины пластичности и упругости, незначительно увеличиваясь в горизонте ВСg (80–110 см), остаются все же на низком уровне, что обусловлено слабой дифференциации профиля по илу и низким содержанием в породе обменных оснований. Слабоупругие и малопластичные почвенные контакты в профиле Р-4-1 свидетельствуют о крайне низкой структурной устойчивости данной почвы к механическим нагрузкам.

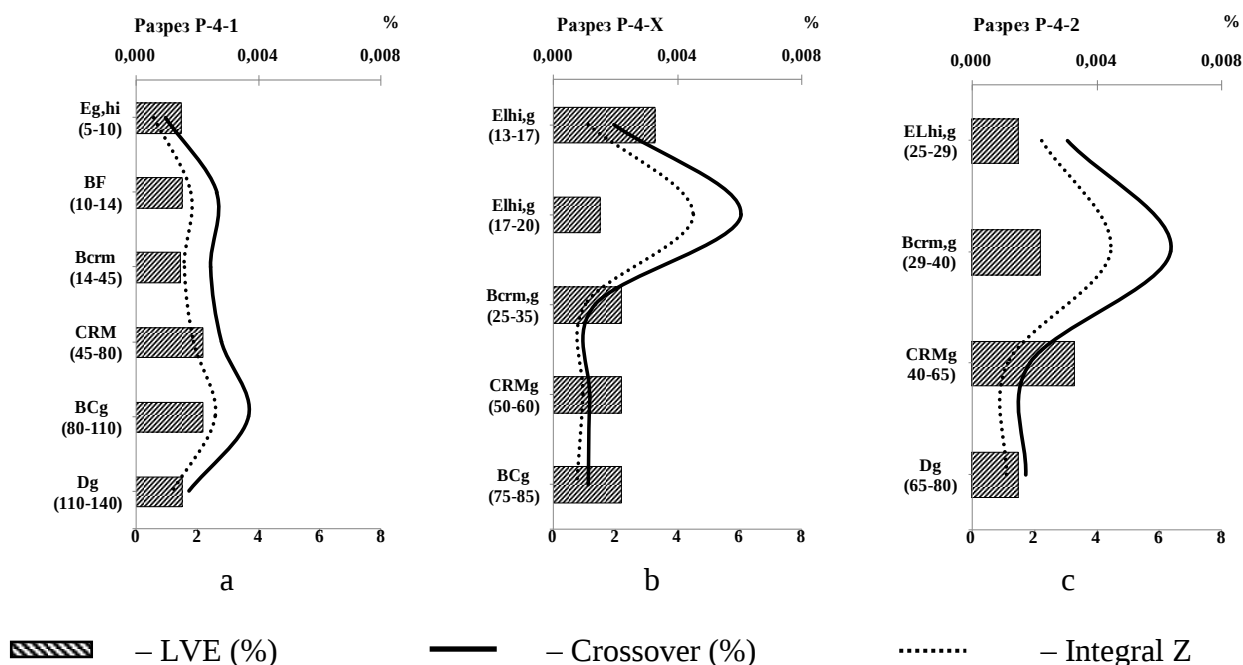


Рисунок 43 – Изменение значений упругой деформации (LVE, %), величины пластичности (Crossover, %) и показателя структурной устойчивости (Integral Z) в профиле почв лесотундры (КУ-V). Под буквами а, b, с те же почвы, что на рисунке 28

В полугидроморфных условиях (разрезы Р-4-X и Р-4-2) профильное распределение величин прочности контактов идет в обратном (в сравнении с автоморфной почвой Р-4-1) порядке: от минимальных значений в верхней части профиля до максимальных в нижней части (рисунки 41b, 41c, 42b, 42c). Также как и в полугидроморфных условиях северной (КУ-III) и крайнесеверной тайги (КУ-IV), низкая прочность верхних иллювиально-

гумусовых горизонтов (ELhi,g) в профиле почв, вскрытых разрезами Р-4-Х и Р-4-2, обусловлена накоплением слаборазложившихся растительных остатков (Собщ. до 2 %). Накопление органоминеральных соединений железа в нижней части профиля полугидроморфных почв (Р-4-Х и Р-4-2), в сочетании с более глубоким проникновением отрицательных температур в условиях лесотундры, способствует формированию в нижележащих горизонтах (CRMg, BCg, Dg) более прочных почвенных контактов с повышенными значениями модуля упругости G' до $2,16 \cdot 10^6$ Па (Рисунок 39) в горизонте BCg (75–85 см) светлосема торфянистого (Р-4-Х) и до $1,71 \cdot 10^6$ Па (рисунок 40) в горизонте Dg (65–80 см) светлосема торфяного (Р-4-2).

Крайне низкие значения предела пластичности (CROSSOVER 1,11–1,95 %) и упругости (LVE-range 0,0015–0,0022 %) почти по всему профилю полугидроморфных почв Р-4-Х и Р-4-2 свидетельствуют о значительной хрупкости и слабой устойчивости к механическим нагрузкам формирующихся здесь почвенных контактов. Исключением являются подзолистый иллювиально-гумусовый горизонт ELhi,g (17–20 см) в профиле Р-4-Х и криометаморфический горизонт BCm,g (29–40 см) профиля Р-4-2, которые выделяются повышенными значениями пластичности (значения CROSSOVER до 6,0 и 6,4 %) и, как следствие, высокими показателями структурного взаимодействия – Integral Z характеризуется величинами 4,4–4,5. Аналогичная ситуация отмечалась для некоторых горизонтов светлосемов мелкоторфянистого и торфянистого, формирующихся в полугидроморфных условиях северной (КУ-III) и крайнесеверной тайги (КУ-IV). Однако, как было нами отмечено, высокие значения величины Integral Z в данных условиях не отражают повышенную устойчивость микроструктуры, а являются результатом активного разрушения микроагрегатов со слабыми межчастичными связями, вследствие низкого содержания в данных горизонтах илистых частиц и обменных оснований. Дегградация микроагрегатов обусловлена также длительным поверхностным переувлажнением полугидроморфных почв. Восстановительные условия при

переувлажнении способствуют глеевой мобилизации соединений железа и разрушению альфегумусовых пленок на поверхности микроагрегатов, определяя тем самым их низкую прочность и слабую устойчивость к механическим нагрузкам (Хайдапова и др., 2014; Холопов и др., 2017; Холопов и др., 2018б). Л.П. Абрукова (1970б) при изучении тундрово-глеевых почв, отмечала отрицательную роль в процессах структурообразования фульватного типа гумуса, который являясь не коагулятором, а стабилизатором коллоидной части почв, способствует проявлению плавунно-дилатантных свойств в почвах тундровой зоны. Таким образом, низкая прочность почвенных контактов в сочетании со слабой упругостью обуславливает быстрый переход горизонтов EL_{hi},g и Bcr_m,g при механическом воздействии из твердообразного в текучее состояние. Подтверждением этому являются и полевые морфологические описания – в переувлажненном состоянии горизонты EL_{hi},g и Bcr_m,g полугидроморфных почв (Р-4-Х и Р-4-2) имеют студнеобразное состояние, при постукиваниях лопатой проявляют тиксотропность и текучесть.

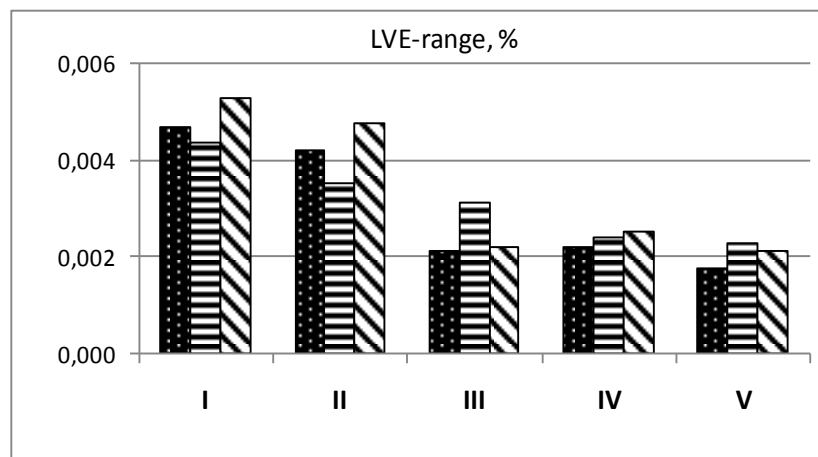
Таким образом, в зависимости от ландшафтных условий наблюдаются некоторые особенности реологического поведения исследуемых почв связанные с изменениями условий увлажнения. В разных подзонах тайги эти особенности имеют близкий характер. Наиболее прочные межчастичные взаимодействия формируются в горизонтах с повышенным накоплением иллювиальных органических веществ фульватной природы и органоминеральных альфегумусовых соединений. С увеличением влажности почв, прочность микроструктурных взаимодействий заметно снижается, что обусловлено повышенным накоплением в полугидроморфных условиях слаборазложившихся органических остатков. В то же время с увеличением гидроморфности выявлено повышение пластичности в верхней части профиля почв, что сочетается с повышением показателя структурной устойчивости (Integral Z). Однако это увеличение не отражает высокую структурную устойчивость полугидроморфных почв, а является результатом

деградации почвенных микроагрегатов и более интенсивным их распадом при механическом воздействии.

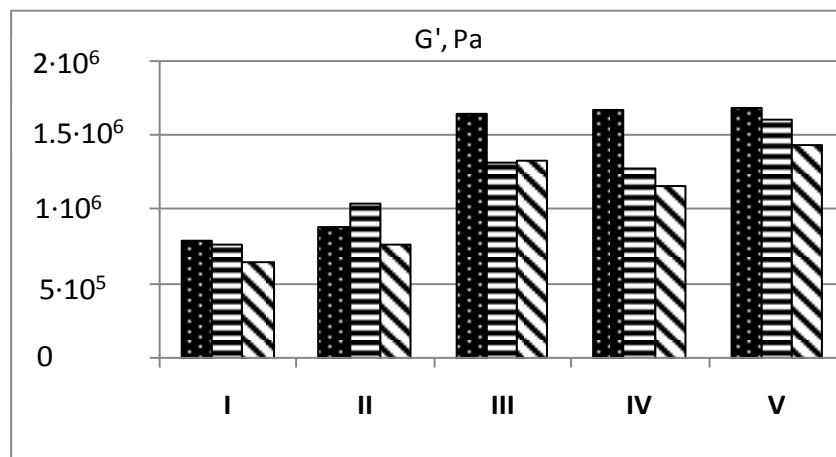
4.3 Подзональные особенности реологических свойств таежных почв

Анализ реологических данных выявил некоторые особенности в реологическом поведении исследуемых почв при продвижении к северу таежной зоны, что обусловлено некоторыми изменениями в гидротермическом режиме почв. Оценка реологического поведения в ряду автоморфных и полугидроморфных почв показала заметное снижение устойчивости почвенной микроструктуры при продвижении от южной до крайнесеверной тайги и лесотундры, с формированием прочных, но более хрупких межчастичных взаимодействий. В автоморфных почвах среднее по профилю значение модуля упругости (G') увеличивается от $7,95 \cdot 10^5$ Па (южная тайга, разрез Л-2) до $1,69 \cdot 10^6$ Па (лесотундра, разрез Р-4-1) (рисунок 44b). Причем, в почвах южной и средней тайги жесткие межчастичные контакты со значениями G' более $1,00 \cdot 10^6$ Па приурочены только к верхней части профиля (до глубины 15–34 см), в почве северной тайги – до глубины 70 см (горизонт CRM1), в почвах крайнесеверной тайги и лесотундры повышенная прочность межчастичных взаимодействий характерна для всего профиля, то есть на глубину более 100 см.

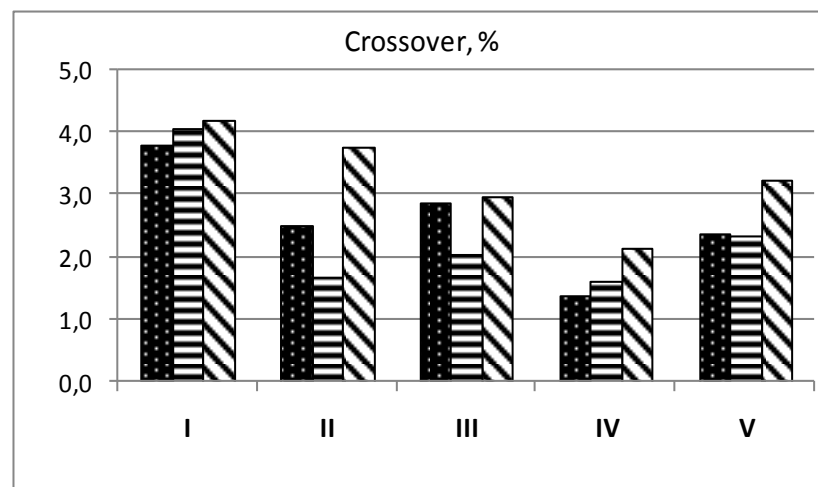
К северу отмечается снижение значений упругости LVE-range менее 0,00328 % (рисунок 44a) и пластичности CROSSOVER – менее 3,48 % (рисунок 44c) межчастичных контактов, что говорит о повышении хрупкости формирующихся к северу таежной зоны межчастичных почвенных взаимодействий. Повышение жесткости контактов при снижении предела упругости и пластичности прослеживается также и в ряду полугидроморфных почв.



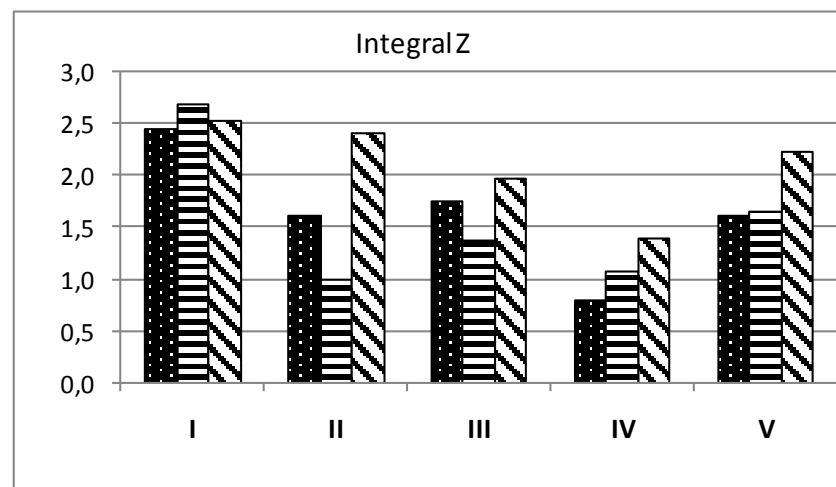
a



b



c



d

Рисунок 44 – Изменение реологических показателей в подзональном ряду почв: а – предел упругой деформации (LVE-range, %); б – значение модуля упругости (G' , Pa); в – предел пластичной деформации (Crossover, %); д – значение показателя структурной устойчивости (Integral Z); I – южная тайга; II – средняя тайга; III – северная тайга; IV – крайнесеверная тайга; V - лесотундра

Условные обозначения к рисунку 44:

-  – Автоморфные условия
-  – Полугидроморфные условия с временно-застойным переувлажнением (Пб1)
-  – Полугидроморфные условия с длительно-застойным переувлажнением (Пб2)

Почвы южной тайги (КУ-I): Автоморфные условия – дерново-подзолистая типичная текстурно-дифференцированная (Разрез Л-2); Полугидроморфные условия (Пб1) – дерново-подзолистая поверхностно-глееватая текстурно-дифференцированная (Разрез Л-1); Полугидроморфные условия (Пб2) – дерново-подзолистая глееватая текстурно-дифференцированная мелкоторфянистая (Разрез Л-3);

Почвы средней тайги (КУ-II): Автоморфные условия – подзолистая с микропрофилем подзола текстурно-дифференцированная (Разрез Р-1-II); Полугидроморфные условия (Пб1) – торфяно-подзолисто-глеевая мелкоторфянистая текстурно-дифференцированная (Разрез Р-8-X); Полугидроморфные условия (Пб2) – торфяно-подзолисто-глеевая торфянистая текстурно-дифференцированная (Разрез Р-3-II);

Почвы северной тайги (КУ-III): Автоморфные условия – светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый (Разрез Р-3); Полугидроморфные условия (Пб1) – светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый (Разрез Р-3-X); Полугидроморфные условия (Пб2) – светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый (Разрез Р-2);

Почвы крайнесеверной тайги (КУ-IV): Автоморфные условия – светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый (Разрез Р-39); Полугидроморфные условия (Пб1) – светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый (Разрез Р-42); Полугидроморфные условия (Пб2) – светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый (Разрез Р-71);

Почвы лесотундры (КУ-V): Автоморфные условия – светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый (Разрез Р-4-1); Полугидроморфные условия (Пб1) – светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый (Разрез Р-4-X); Полугидроморфные условия (Пб2) – светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый (Разрез Р-4-2);

Средние значения модуля упругости G' в профилях ряда полугидроморфных почв (разрезы Л-1, Р-8-Х, Р-42, Р-3-Х, Р-4-Х), формирующихся на склонах водораздельных увалов, увеличиваются от $7,68 \cdot 10^5$ Па (южная тайга, разрез Л-1) до $1,60 \cdot 10^6$ Па (лесотундра, разрез Р-4-Х). При этом в почвах южной и средней тайги наиболее прочные контакты со значениями G' более $1,00 \cdot 10^6$ Па отмечаются до глубины 50 см, в почвах северной, крайнесеверной тайги и лесотундры – более 100 см. В полугидроморфных почвах (разрезы Л-3, Р-3-П, Р-71, Р-2, Р-4-2), формирующихся в нижней части водораздельных увалов, средние по профилю значения модуля упругости G' увеличиваются к северу таежной зоны от $6,58 \cdot 10^5$ Па (южная тайга, разрез Л-3) до $1,44 \cdot 10^6$ Па (лесотундра, разрез Р-4-2). Наиболее прочные контакты со значениями G' более $1,00 \cdot 10^6$ Па в почвах южной и средней тайги отмечены нами до глубины 56 см, в почвах северной, крайнесеверной тайги и лесотундры – более 100 см. Аналогично подзолистым автоморфным почвам, в полугидроморфных почвах склонов и нижних частей увалов отмечается снижение значений упругости LVE-range (менее 0,00328 %) и пластичности CROSSOVER (менее 3,48 %). Это свидетельствует о повышенной хрупкости формирующихся к северу таежной зоны межчастичных почвенных взаимодействий. Усиление прочности почвенных контактов к северу обусловлено активным поступлением в профиль почв подвижных органических веществ, в том числе комплексных альфегумусовых соединений. Этому в значительной степени способствуют: (а) процессы поверхностного оглеения (Зайдельман, 2009), являющиеся пусковым механизмом для мобилизации и миграции альфегумусовых соединений вглубь профиля почв; (б) увеличение дисперсности гумусовых веществ при промерзании – оттаивании почв (Дергачева, Дедков, 1977; Арчегова, 1979). При этом, судя по данным реологических испытаний (Приложение Г), наиболее сильное влияние на реологические свойства в светлоземах, формирующихся в условиях северной тайги (разрез Р-3), оказывают альфегумусовые соединения. Возможно, это обусловлено

наиболее благоприятными условиями развития глеево-альфегумусовых процессов в силу более мягких почвенных гидротермических условий и практически однородного пылевато-легкосуглинистого состава почвообразующей породы.

В условиях севера при повышенной влажности и низкой насыщенности почв основаниями альфегумусовые соединения способствуют накоплению значительного запаса структурной прочности, являясь основным связующим материалом для почвенных частиц в процессе микроагрегатообразования (Тюлин, 1958). Кроме того, повышенная прочность почвенных контактов к северу может быть обусловлена процессами промораживания, в результате которых происходит дегидратация и уплотнение почвенных частиц с формированием прочных конденсационных межчастичных взаимодействий. В исследуемых нами почвах фактор промерзания наиболее четко проявляется в профиле светлосемов, в виде некоторого повышения прочности контактов на глубине 40–60 см, где в зимний период происходит формирование фронта промерзания с длительным периодом околонулевых температур. Образование криометаморфической структуры в средней части профиля светлосемов свидетельствует о положительной роли, которую оказывает промораживание на структурное состояние почв, снижая слитость почвенной массы.

Как видно из рисунка 44d, наиболее высокие показатели среднепрофильных значений структурной устойчивости (Integral Z) отмечаются для почв южной тайги – до 2,45–2,69, к северу данный показатель имеет тенденцию к снижению с наименьшим значением (0,89) в автоморфной почве крайнесеверной тайги (разрез Р-39). В подзоне лесотундры среднепрофильные значения Integral Z несколько повышаются, однако это повышение не отражает высокую структурную устойчивость лесотундровых почв, а является следствием их подверженности процессам

пывунности в результате более интенсивного разрушения хрупких меж- и внутриагрегатных связей.

Таким образом, активное поступление подвижных органических веществ, в том числе в виде комплексных органо-минеральных соединений с железом и алюминием, а также более длительные и мощные процессы промерзания смещают микроструктурные контакты в сторону прочных, но более хрупких слабоупругих контактов с низкой пластичностью, обладая узким пределом деформирования, резко разрушаются при нагрузках, долго и слабо восстанавливаясь при снятии нагрузки. Этим объясняется склонность северных почв к тиксотропности или пывунности.

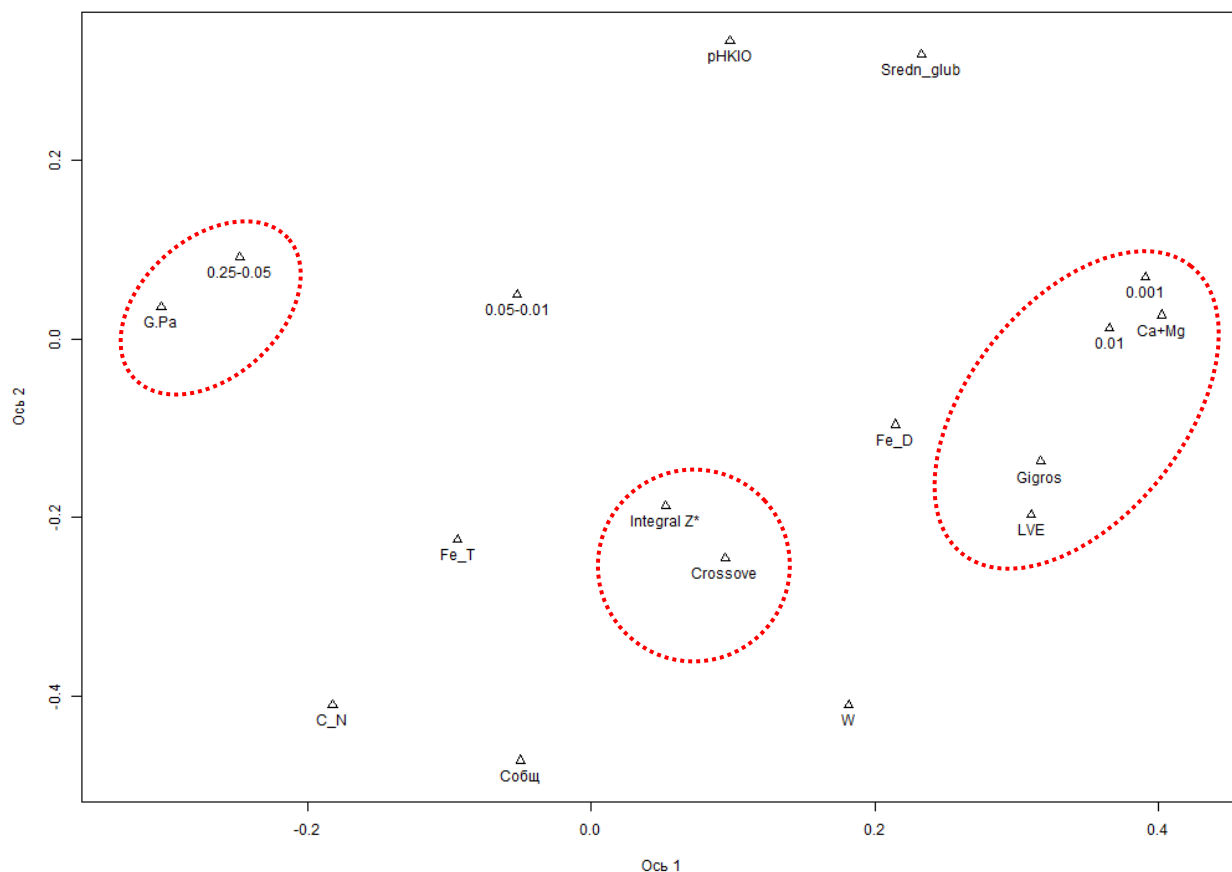


Рисунок 45 – Результаты анализа методом главных компонент с использованием матрицы парных корреляций. Доля объясненной дисперсии от общей суммы для PCA1 – 30,7 %, для PCA2 – 16,7 %.

Статистическая обработка результатов исследований при совокупной выборке всех почвенных образцов показала, что содержание обменных

оснований (Ca+Mg), илистых ($< 0,001$ мм) и глинистых фракций ($< 0,01$ мм) в почве оказывает отрицательное влияние на величину прочности почвенных контактов (G') и положительную – на значения диапазона упругой (LVE-range) и пластичной (CROSSOVER) деформации (рисунок 45). Кроме того выявлено, что на показатель упругости (LVE-range) почвенных контактов значимое влияние оказывает содержание общего углерода ($p=0,02$) (таблица 12). С показателем прочности межчастичных почвенных контактов или величиной модуля G' выявлена тесная зависимость от содержания общего углерода, оксалатрастворимых форм железа и показателя C/N – величины соотношения содержания общего углерода к общему азоту. Повышенное содержание обменных оснований, слаборазложившихся органических веществ и более тяжелый гранулометрический состав способствуют активному сорбированию влаги, которая снижает прочность взаимодействия между частиц. Слаборазложившиеся органические вещества увеличивают упругое сопротивление почвы в начале деформационного воздействия, при преодолении которого (по мере увеличения нагрузки) система переходит в упруго-вязкое или пластичное состояние. Накопление оксалат- и дитионитрастворимых форм железа снижают упругие и пластичные свойства почв, способствуя формированию прочных, но более хрупких взаимодействий. Интересно отметить, что влияние содержания общего углерода на прочность межчастичных взаимодействий имеет отрицательную связь, а влияние величины C/N – положительную. Это показывает, что характер межчастичных взаимодействий зависит не только от количества, но и от качества органических веществ. Известно, что широкие показатели соотношения C/N в подзолистых почвах обусловлены слабой трансформацией органического вещества с преобладанием фульватного типа гумуса, а так же высоким содержанием низкомолекулярных органических веществ (Кононова, 1963). Кроме того, увеличению соотношения C/N в почвах способствуют процессы оглеения (Зайдельман, 2009).

Таблица 12 – Связь реологических показателей с физико-химическими свойствами по данным статистического анализа*

Зависимые реологические показатели	Независимые факторы	Статистические показатели**				
		SE	SS	MS	F	p-value
Модуль упругости G' (Па)	Общий углерод Собщ., %	49772,0	$1,73 \cdot 10^{12}$	$1,73 \cdot 10^{12}$	10,29761	-0,002
	Обменные основания Ca+Mg, смоль/кг	36844	$1,6 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	9,59456	-0,02
	Соотношение углерода к азоту (C/N)	13374,7	$9,3 \cdot 10^{11}$	$9,3 \cdot 10^{11}$	5,56297	0,02
	Оксалатрастворимые формы железа Fe ₂ O ₃ (по Тамму), %	480177	$7,6 \cdot 10^{11}$	$7,6 \cdot 10^{11}$	4,51922	0,002
Упругая деформация LVE-range (%)	Обменные основания Ca+Mg, смоль/кг	0,000029	0,000019	0,000019	19,84786	0,00002
	Общий углерод Собщ., %	0,000120	0,000005	0,000005	5,33545	0,002
	Содержание фракций <0,001 мм, %	0,000034	0,000004	0,000004	4,29223	0,04
Пластичная деформация Crossover (%)	Обменные основания Ca+Mg, смоль/кг	0,038544	18,3362	18,3362	10,37891	0,001
Структурная устойчивость Integral Z	Обменные основания Ca+Mg, смоль/кг	0,028765	7,1081	7,1081	7,22310	0,008

Примечания

*Объем выборки для статистического анализа n=122.

** SE – стандартная ошибка; SS – сумма квадратов отклонений; MS – дисперсия; F – критерий Фишера; p-value – статистическая значимость (p<0,005).

Следовательно, поступление в профиль почв гумусовых веществ с высокой долей подвижных фульватных фракций, а также низкомолекулярных органических веществ, в том числе в форме комплексных альфегумусовых соединений, будут определять более жесткий характер реологического поведения исследуемых почв. К северу фульватный характер гумуса заметно усиливается, кроме того возрастает его потечность, соответственно, увеличивается мощность слоя в профиле почв с более высокими показателями прочности почвенных контактов.

Кроме прямых зависимостей статистический анализ дополнительно показал долю необъясненной дисперсии или долю неизвестных факторов, которые влияют на реологическое поведение исследуемых почв. Для величины прочности (G') этот показатель составляет 44 %, для упругости (LVE-range) – 50 %, для величины пластичности (CROSSOVER) – 75 %. Как видно, это достаточно большие показатели, но для биологических объектов, особенно таких сложных как почва, эти цифры являются приемлемыми. Высокая доля необъясненной дисперсии обусловлена тем, что реологическое поведение почв имеет многофакторную природу формирования, вследствие очень сложного и поликомпонентного состава почв. Однако, данный статистический показатель имеет важное значение с точки зрения выявления состояния изученности проблемы и перспектив дальнейших исследований.

В связи с тем, что в данной работе мы не проводили прямых экспериментальных исследований, направленных на оценку влияния отрицательных температур на реологическое поведение почв, в долю необъясненной дисперсии можно включить фактор промерзания, влияние которого косвенно подтверждается данными наблюдений по изучению температурного режима северотаежных светлоземов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетние и разносторонние исследования почв Коми Республики показали, что задачи рационального использования почвенных ресурсов и минимизации негативных последствий человеческой деятельности, следует решать с учетом природного потенциала почв – плодородия, устойчивости к меняющимся условиям окружающей среды, способности к самовосстановлению после частичного или полного разрушения. Основными направлениями землепользования в Республике Коми являются лесохозяйственное, промышленное и сельскохозяйственное. Однако, в силу преобладания по площади земель лесного фонда до 3 595 0000 га (Козубов и др., 1999), основная нагрузка в плане антропогенного (агро- и техногенного) воздействия ложится на таежные подзолистые почвы, относящиеся согласно критериям новой классификации к отделу текстурно-дифференцированных (дерново-подзолистые, подзолистые) почв в южной и средней тайге и криометаморфических (светлоземы иллювиально-железистые) почв в северной, крайнесеверной тайге и лесотундре. С позиции сельского хозяйства данные почвы обладают низким природным плодородием, требующим значительных финансовых вложений при создании агроценозов. Для получения хороших урожаев необходимы меры смягчающие негативные почвенные условия таежных почв – повышенную кислотность, избыточную влажность, бедность питательными веществами и гумусом, слабую оструктуренность минеральной массы. В то же время в отношении развития лесного хозяйства таежные почвы являются наиболее плодородными и продуктивными, так как именно они являются основой формирования и функционирования ценных и производительных хвойных лесов. Для воспроизводства лесов и развития сельского хозяйства на территории Республики Коми, несомненно, наиболее благоприятные климатические и почвенные условия имеются в подзоне южной и средней тайги (Забоева, Лаптева, 2008), хотя в XX веке сельскохозяйственное освоение почв распространялась вплоть до арктической зоны Республики Коми, где в

окрестностях г. Воркута были созданы сеяные луга в качестве кормовой базы животноводства в тундровой зоне (Арчегова и др., 1991; Арчегова и др., 2013).

В настоящее время площадь сельскохозяйственных земель ежегодно сокращается с переходом в залежи или в земли иного назначения. Лесохозяйственное и промышленное использование земель, наоборот, с каждым годом увеличивается, в связи с промышленными рубками лесов, разработкой месторождений полезных ископаемых (нефть, газ, уголь, бокситы и пр.), их добычей и переработкой. Усиление антропогенного давления особенно на Севере обуславливает интенсивное техногенное разрушение почвенного покрова, что в первую очередь сопровождается механическими нарушениями почв. В силу суровых климатических условий северные экосистемы характеризуются медленным самовосстановлением (Таскаев, Арчегова, 2011), что провоцирует развитие эрозионных процессов.

Выполненный в рамках представленной диссертационной работы комплекс исследований по изучению реологических свойств почв Республики Коми показал, что наиболее устойчивые к механическим нагрузкам межчастичные почвенные взаимодействия формируются в дерново-подзолистых текстурно-дифференцированных почвах южной тайги. Этому способствует менее агрессивный состав поступающих из подстилки почвенных органических веществ, в состав которых входят фракции гуминовых кислот, предположительно связанные с кальцием (Канев, 2002; Лодыгин, 2016). Полученный вывод согласуется с результатами исследований черноземов Курской области (Хайдапова и др., 2016) и Алтайского Приобья (Шеин, и др., 2014а). Авторы отмечают рост устойчивости к механическим нагрузкам в почвах более богатых органическим веществом, а так же с высоким содержанием карбонатов в породе. Показано, что органическое вещество черноземов выполняет основную структурирующую роль в межчастичных взаимодействиях, повышая устойчивость (водоустойчивость в насыщенном состоянии) и

препятствуя переходу почвы в текучее состояние. При уменьшении влажности органическое вещество препятствует формированию прочных (кристаллизационных) связей между минеральными частицами почв, обеспечивая тем самым благоприятное агрегатное строение и не позволяя почвенным частицам цементироваться в глыбы. К северу таежной зоны, а именно, в криометаморфических почвах (светлоземах), интенсивное поступление подвижных органических веществ, наряду с активными глее-альфегумусовыми процессами, длительным промерзанием почв, а также более легким гранулометрическим составом почвообразующей породы способствуют формированию прочных, но более хрупких межчастичных взаимодействий. При превышении предела прочности таких контактов происходит резкое разрушение структурных связей с длительным и слабым восстановлением.

Таким образом, проведенные в данной диссертационной работе исследования физико-механических свойств таежных автоморфных и полугидроморфных почв Коми Республики с помощью реологического подхода могут найти свое применение при разработке научных основ и методов рационального использования таежных почв при лесохозяйственном, сельскохозяйственном, промышленном и ином использовании.

ВЫВОДЫ

1. Впервые определены реологические характеристики автоморфных и полугидроморфных таежных почв. Показано, что различия в характере межчастичных почвенных связей и механических свойствах (упругость, вязкость, пластичность) исследуемых почв, связанные с климатическими и гидрологическими условиями их формирования, наиболее четко проявляются в верхних минеральных горизонтах, в нижней части профиля реологические параметры в большей мере определяются физико-химическими и литологическими свойствами почвообразующих пород.

2. Наиболее прочные межчастичные контакты со значениями G' более $1,00 \cdot 10^6$ Па формируются в горизонтах с высоким содержанием гумусовых веществ и органоминеральных альфегумусовых соединений иллювиальной природы. Повышенная прочность структуры обусловлена цементацией почвенных частиц органоминеральными соединениями с формированием жестких межчастичных контактов, а также конденсационным уплотнением частиц в процессе промерзания-оттаивания. Устойчивость прочного межчастичного взаимодействия ограничивается повышенной хрупкостью с узким пределом пластичности (CROSSOVER – менее 3,48 %) и упругого деформирования (LVE-range – менее 0,00328 %). Такие контакты быстро разрушаются при механическом воздействии и слабо восстанавливаются после снятия нагрузки.

3. Усиление гидроморфизма почв сопровождается снижением прочности межчастичных контактов: в автоморфных условиях максимальная прочность контактов зафиксирована в пределах $(1,23-3,66) \cdot 10^6$ Па, в полугидроморфных условиях – в пределах $(1,00-2,76) \cdot 10^6$ Па. Снижение прочности контактов связано с аккумуляцией в полугидроморфных почвах слаборазложившихся органических остатков, ослабляющих межчастичное взаимодействие. В отдельных горизонтах полугидроморфных почв наблюдается увеличение значений пластичности структуры до 6,5–8,5 % и показателя структурного взаимодействия (Integral Z) почв до 4,84–6,72,

которое является следствием более интенсивного разрушения микроагрегатов.

4. В направлении от текстурно-дифференцированных почв южной и средней тайги к криометаморфическим почвам северной, крайнесеверной тайги и лесотундры наблюдается усиление прочности или жесткости межчастичных почвенных контактов. Это сопряжено с более активным поступлением органических веществ фульватной природы, в том числе комплексных альфегумусовых соединений, а так же более мощным и длительным промерзанием почв. В автоморфных почвах средние по профилю значения модуля упругости (G') увеличиваются от $7,95 \cdot 10^5$ Па (южная тайга, разрез Л-2) до $1,69 \cdot 10^6$ Па (лесотундра, разрез Р-4-1), в полугидроморфных почвах – от $7,68 \cdot 10^5$ Па (разрез Л-1) до $1,60 \cdot 10^6$ Па (разрез Р-4-Х) и $1,44 \cdot 10^6$ Па (разрез Р-4-2).

5. Уменьшение в ряду почв от южной тайги к лесотундре величины упругой деформации до значений LVE-range менее 0,00328 % и пластичной деформации со значениями CROSSOVER менее 3,48 % свидетельствует о снижении общей структурной устойчивости северотаежных почв и почв лесотундры к механическим нагрузкам по сравнению с почвами южной и средней тайги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрукова В. В. Связь реологических свойств почв со структурными характеристиками : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.03 / Абрукова Вера Владимировна. – М., 1988. – 17 с.
2. Абрукова В. В., Манучаров А. С. Реологическая характеристика тундровой поверхностно-глеевой почвы // Почвоведение. – 1986. – № 9. – С.44–52.
3. Абрукова Л. П. Изучение тиксотропных свойств почв о применением ротационного вискозиметра РВ-8 // Почвоведение. – 1970а. – № 8. – С. 83–114.
4. Абрукова Л. П. Кинетика процессов тиксотропного структурообразования в почвенных суспензиях // Почвоведение. – 1970б. – № 3. – С.105–114.
5. Абрукова Л. П. О характере изменения петли гистерезиса при изучении явления тиксотропии в почвах // Бюллетень Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. – 1972. – Вып.4. – С. 103–112.
6. Абрукова Л. П. Применение конического пластометра для исследования прочностных свойств почв // Почвоведение. – 1980. – № 7. – С.147–155.
7. Абрукова Л. П. Реопексия при реологических исследованиях почв // Почвоведение. – 1976. – № 5. – С. 121–126.
8. Абрукова Л. П. Тиксотропные свойства почв. – 1977. – 141 с. – Депонир. науч. отчет № 71074971.
9. Азовцева Н. А., Лазарева Е. В., Парфенова А. М., Хайдапова Д. Д., Ключева В. В. Влияние органических веществ на реологическое поведение почв и модельных почвенных систем при различных режимах увлажнения // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов. – М. : Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, – 2017. – С. 66–67.
10. Алексеев В. М., Калугин П. И. Физико-механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения : учебно-методическое

пособие. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, 2009. – 89 с.

11. Амелина Е. А. Контактные взаимодействия частиц в дисперсных структурах // Физико-химическая механика природных дисперсных систем. – М.: Изд. МГУ, 1985. – С. 6–19.

12. Арчегова И. Б. Влияние промораживания на сорбцию, состав, свойства гумусовых веществ // Почвоведение. – 1979. – № 11. – С. 39–51.

13. Арчегова И. Б. Гумусовый профиль и некоторые свойства типичных подзолистых почв северо-востока европейской части СССР // Материалы по почвам Коми АССР. Почвы равнинных и горных территорий Коми АССР и их плодородие. – Сыктывкар, 1974. – С. 43–49.

14. Арчегова И. Б., Котелина Н. С., Грунина Л. К., Романов Г. Г., Турубанова Л. П., Братенкова Е. С. Экологические основы управления продуктивностью агрофитоценозов восточноевропейской тундры. – Л.: 1991. – 152 с.

15. Арчегова И. Б., Панюков А. Н., Андрианов В.А. Возможности и экономическая целесообразность сельского хозяйства в тундре // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2013. – №1(32). – С.12-15.

16. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. – Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2010. – 356 с.

17. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / Ред. А. А. Братцев, А. П. Братцев и др.; Отв. ред. А.И.Таскаев. – М.: Дрофа; Дик, 1997. – 115 с.

18. Библик Е. Е. Реология дисперсных систем. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 172 с.

19. Болотов А. Г. Методика измерения реологических свойств почвы с помощью реометра // Дальневосточный аграрный вестник. – 2015. – № 3. – С. 13–17.

20. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Изд-во Агропромиздат, 1986. – 416 с.
21. Варсонофьева В. А. Геоморфология // Производительные силы Коми АССР. : Т.1. Геологическое строение и полезные ископаемые. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 253–322.
22. Вершинин П. В. Почвенная структура и условия ее формирования. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. – 187 с.
23. Витт В. С. К характеристике глееподзолистых и болотно-подзолистых суглинистых почв // Почвоведение. – 1985. – № 5. – С. 28–31.
24. Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 204 с.
25. Втюрин Г. М. Структура почвенного покрова таежной зоны европейского Северо-Востока. – Л., 1991. – 152 с.
26. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.
27. Габов Д. Н., Безносиков В. А., Кондратенко Б. М. Полициклические ароматические углеводороды в подзолистых и торфянисто-подзолисто-глееватых почвах фоновых ландшафтов // Почвоведение. – 2007. – № 3. – С. 282–291.
28. Габов Д. Н., Безносиков В. А., Кондратенко Б. М., Яковлева Е. В. Закономерности формирования полициклических ароматических углеводородов в почвах северной и средней тайги // Почвоведение. – 2008. – № 11. – С. 1334–1343.
29. Герасимова М. И., Хохлов С. Ф. Классификация почв России: обсуждение на сайте в интернете // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1449–1455.
30. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия / Под ред. В. М. Котлякова. – М.: Геос, 2000. – 262 с.

31. Горбунов Н. И., Аbruкова Л. П. Реологические свойства и минералогический состав слитых почв // Почвоведение. – 1974. – № 8. – С.74–85.
32. Горькова И. М. Структурные и деформационные особенности осадочных пород различной степени уплотнения и литификации. – М.: Наука, 1966. – 128 с.
33. Горькова И. М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. – М.: Стройиздат, 1975. – 207 с.
34. Государственная почвенная карта России (М 1:1000000). Лист Q-41 (Воркута) / Сост. И. В. Забоева, В. Г. Казаков, М. Д. Рубцов, Г. М. Втюрин, Е. Н. Руднева, Р. П. Михайлова, О. М. Терешенкова. – М.: ПКО «Картография», 1999.
35. Государственная почвенная карта России (М 1:1000000). Лист Р-40 (Красновишерск) / Сост. И. В. Забоева, В. Г. Казаков, Р. П. Михайлова, Е. Н. Руднева. – М.: ГУГК, 1988.
36. Государственная почвенная карта СССР (М 1:1000000). Лист Q-39 (Нарьян-Мар) / Сост. В. А. Попов, И. В. Забоева, С. В. Беляев, И. В. Игнатенко, Е. Н. Руднева. – М.: ГУГК, 1977.
37. Государственная почвенная карта СССР (М 1:1000000). Лист Q-40 (Печора) / Сост. И. В. Забоева, С. В. Беляев, В. А. Попов, В. Г. Казаков, И. В. Игнатенко. – М.: ГУГК, 1982.
38. Государственная почвенная карта СССР (М 1:1000000). Лист Р-39 (Сыктывкар) / Сост. И. В. Забоева, Н. Я. Коротаев. – М.: Изд-во АН СССР, 1958.
39. Гуслицер Б. И., Разницын В. А., Фишман М. В., Чернов Г. А. Геологические и геоморфологические карты // Атлас Коми АССР. – М., 1964. – С. 9–18.
40. Дармаева Н. Н., Хайдапова Д. Д. Пластическая прочность и экологическая устойчивость мерзлотных почв в зависимости от их положения в склоновом рельефе на юге Витимского плоскогорья // Вестник

Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2012. – №2. – С. 28–32.

41. Дергачева М. И., Дедков В. С. Влияние промерзания-оттаивания на органическое вещество почв приобской лесотундры // Экология. – 1977. – №2. – С. 23–32.

42. Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. – М.: Колос, 1972. – 360 с.

43. Дымов А. А., Милановский Е. Ю., Хайдапова Д. Д., Жангуров Е. В. Реологические свойства почв горно-тундрового приполярного Урала // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана : материалы Всероссийской конференции (3–7 июня 2013 г., г. Сыктывкар). – Сыктывкар : Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2013а. – С. 303–307.

44. Дымов А. А., Старцев В. В. Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошнолесосечных // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 599–608.

45. Дымов, А. А., Жангуров Е. В., Старцев В. В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. – 2013б. – № 5. – С. 507–516.

46. Ефремова Т. Т. Структурообразование в торфяных почвах. – Новосибирск : Наука. Сиб. Отд-ние, 1992. – 191 с.

47. Жангуров Е. В., Лебедева (Верба) М. П., Забоева И. В. Микростроение генетических горизонтов автоморфных таежных почв Тимана // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 288–299.

48. Забоева И. В. Основные генетические черты подзолистых почв // Продуктивность подзолистых почв северо-восточной части Нечерноземной зоны. – Сыктывкар, 1989. – С. 6–14.

49. Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. – Сыктывкар : Коми книжное издательство, 1975. – 344 с.

50. Забоева И. В., Лаптева Е. М. Север и земельные ресурсы // Север: арктический вектор социально-экологических исследований. – Сыктывкар, 2008. – С.316-322.
51. Забоева И. В., Рубцов М. Д. Дерново-подзолистые почвы южной тайги Коми АССР: Таежные почвы Коми АССР и их плодородие // Тр. Коми фил. АН СССР № 71. – Сыктывкар, 1985. – С. 17–28.
52. Зайдельман Ф. Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов : учебник. – М.: КДУ, 2009. – 448 с.
53. Зайдельман Ф.Р. Глееобразование как фактор почвообразования и деградации почв, способы их защиты // Почвоведение. – 2017. – №7. – С. 849–859.
54. Зеккель Я. Д. Рельеф // Геология СССР. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – Т. 2, Ч. 1. – С. 32–40.
55. Золотаревская Д. И. Закономерности деформирования почв: Математическое моделирование. – М.: Книжный дом «Либроком», 2013. – 144 с.
56. Каверин Д. А., Пастухов А. В., Жангуров Е. В. Особенности температурного режима светлослов северотаежных ландшафтов (европейский северо-восток России) // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2016. – № 1(25). – С. 23–29.
57. Казаков В. Г. Температурный режим целинных и освоенных почв северотаежной подзоны КомиАССР // Таежные почвы Коми АССР и их плодородие. – Сыктывкар, 1985. – С. 76–89.
58. Канев В. В. Агрегатная организация почвенной массы на основных элементах рельефа Дырносского стационара // Эколого-генетические аспекты почвообразования на европейском Северо-Востоке : Тр. Коми НЦ УрО РАН № 146. – Сыктывкар, 1996. – С. 62–78.
59. Канев В. В. Параметры оглеения и подзолообразования в почвах на покровных суглинках северо-востока Русской равнины. – Екатеринбург : УрО РАН, 2002. – 221 с.

60. Классификация и диагностика почв России / Под ред. Л. Л. Шишова, В. Д. Тонконогова, И. И. Лебедева, М. И. Герасимовой. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
61. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 223 с.
62. Козачок Ж. Н. Особенности гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв // Экология таежных почв Севера : Тр. Коми науч. центра УрО РАН № 153. – Сыктывкар, 1997. – С. 53–64.
63. Козел О. Г. Опыт разработки региональной стратегии адаптации к изменению климата в Республике Коми [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://meteork.ru/art007.shtml>, 2011 г.
64. Козубов Г. М., Таскаев А. И., Дегтева С. В., Мартыненко В. А., Забоева И. В., Бобкова К. С., Галенко Э. П. Леса Республики Коми / под. ред. Г. М. Козубова, А. И. Таскаева. – М.: Издательско-продюссерский центр «Дизайн. Информация. Картография», 1999. – 332.
65. Конищев В. Н. Формирование состава дисперсных пород в криолитосфере. – Новосибирск : Наука, 1981. – 197 с.
66. Конищев В. Н., Рогов В. В. Влияние криогенеза на глинистые минералы // Криосфера Земли. – 2008. – Т. XII, № 1. – С. 51–58.
67. Конищев В. Н., Рогов В. В. Микроморфология криогенных почв и грунтов / В. Н. Конищев // Почвоведение. – 1977. – С. 119–125.
68. Кононенко А. В. Гидротермический режим таежных и тундровых почв европейского Северо-Востока. – Л.: Наука, 1986. – 144 с.
69. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
70. Круглицкий Н. Н. Физико-химические основы регулирования свойств дисперсий глинистых материалов глицикций. – Киев : Наукова думка, 1968. – 244 с.

71. Лепорский О. Р., Седов С. Н., Шоба С. А., Бганцов В. Н. Роль промораживания в разрушении первичных минералов подзолистых почв // Почвоведение. – 1990. – № 6. – С.112–116.
72. Лодыгин Е. Д. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ таежных и тундровых почв Европейского северо-востока России : дис....док. биол. наук: 03.02.13 / Лодыгин Евгений Дмитриевич. – Сыктывкар, 2016. – 319 с.
73. Лодыгин Е. Д., Безносиков В. А., Василевич Р. С. Изучение элементного состава гуминовых и фульвокислот почв таежных и тундровых ландшафтов // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2016. – №4. – С. 10–18.
74. Лодыгин Е. Д., Безносиков В. А., Василевич Р. С. Молекулярный состав гумусовых веществ тундровых почв (¹³C-ЯМР-спектроскопия) // Почвоведение. – 2014. – № 5. – С. 546–552.
75. Лодыгин Е. Д., Безносиков В. А., Чуков С. Н. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв. – СПб.: Наука, 2007. – 145 с.
76. Манучаров А. С., Аbruкова В. В. Применение в почвенно-реологических исследованиях автоматического прибора "Реотест-2" // Почвоведение. – 1982. – № 11. – С.92–100.
77. Манучаров А. С. Основы реологии в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – Ч. 1. – 91 с.
78. Манучаров А. С., Аbruкова В. В., Черноморченко Н. И. Методы и основы реологии в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 97 с.
79. МГЭИК: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. Р.К. Пачаури, А. Райзингер и др. – Женева : МГЭИК, 2007. – 104 с.
80. Мокиев В. В. Промерзание почв как результативный признак метеорологических показателей холодного периода года (на примере промерзания освоенной и целинной суглинистых почв среднетаежной

подзоны Республики Коми) // Вестник Института биологии. – 2009. – № 5. – С. 16–19.

81. Немцева М. П., Филиппов Д. В., Федорова А. А. Реологические свойства коллоидных систем : учебное пособие. – Иваново : ИГХТУ, 2016. – 61 с.

82. Новаковский А. Б. Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2016. – № 3. – С. 26 -33

83. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 323 с.

84. Пастухов А. В. Микроморфологическое строение мерзлотных и длительно сезонно-промерзающих суглинистых почв Европейского северо-востока // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2012. – № 4(12). – С. 30–39.

85. Пастухов А. В. О генезисе и классификационном положении автоморфных почв на покровных суглинках в микроэкотоне тундра-лесотундра // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. – 2008. – №. 3. – С. 117–126.

86. Пастухов А. В., Каверин Д. А. Запасы почвенного углерода в тундровых и таежных экосистемах северо-восточной Европы // Почвоведение. – 2013. – №9. – С. 1084-1094.

87. Переведенцев Ю. П., Верещагин Ю. А., Шанталинский К. М., Наумов Э. П., Тудрий В. Д. Потепление климата земли в XIX-XX столетиях и его проявления на территории Европы // Проблемы и перспективы географических исследований. – Пермь : Изд-во ПГУ, 2001. – С. 89–96.

88. Полевой определитель почв России. – М. : Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 182 с.

89. Почвы европейского северо-востока и их плодородие / Отв.ред. Ф. Р. Зайдельман. – Л.: Наука, 1989. – 189 с.

90. Процессы в целинных и освоенных почвах севера : Тр. Коми науч. центра УрО АН СССР № 122. – Сыктывкар, 1991. – 130 с.
91. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Лесная зона (сезонно-промерзающие почвы) / Ред. колл. Забоева И. В., Лаптева Е. М., Безносиков В. А., и др.; Отв. ред. И. В. Забоева. – Сыктывкар : Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2002. – 100 с.
92. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика – новая область науки. – М.: Знание, 1958. – 64 с.
93. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика дисперсных структур. – М.: Наука, 1966. – С. 3–16.
94. Рейнер М. Реология : пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 224 с.
95. Рижия Е. Я., Мухина И. М., Москвин М. А., Бучкина Н. П., Балашов Е. В. Потенциальная нитрификационная и денитрификационная способность автоморфных и полугидроморфных дерново-подзолистых почв // Агрофизика. – 2014. – № 2. – С. 1–7.
96. Розанов Б. Г. Морфология почв. – Учебник для высшей школы. – М.: Академический проект, 2004. – 432 с.
97. Русанова Г. В. Микроморфология глее-подзолистых почв северо-таежных лесов Европейского Северо-Востока // Почвоведение. – 1981. – № 5. – С. 28–38.
98. Русанова Г. В. Микроморфология таежных почв. – Л.: Наука, 1987. – 150 с.
99. Русанова Г. В., Денева С. В., Шахтарова О. В. Особенности генезиса автоморфных почв северной лесотундры (юго-восток Большеземельской тундры) // Почвоведение. – 2015. – № 2. – С. 145–155.
100. Русанова Г. В., Лаптева Е. М., Пастухов А. В., Каверин Д. А. Современные процессы и унаследованные педогенные признаки в почвах на покровных суглинках южной тундры // Криосфера Земли. – 2010. Том 14. – № 3. – С. 52–60.

101. Русанова Г. В., Соколова Т. А., Кузнецова Е. Г., Слобода А. В. Почвообразование на пылеватых суглинках в таежной зоне европейского Северо-Востока. – Л.: 1978. – 128 с.
102. Сапожников П. М., Скворцова Б. Б., Уткаева В. Ф., Щепотьев В. Н. Физические свойства и структура порового пространства серой лесной почвы при нормированном нагружении // Почвоведение. – 1987. – № 3. – С. 48–57.
103. Свечников Д. А. Реологические свойства почв кедровников Прикетья : дис....канд. биол. Наук : 03.00.27 / Свечников Дмитрий Александрович. – Томск, 2003. – 160 с.
104. Слобода А. В. Некоторые закономерности содержания, состава и свойств гумусовых веществ в почвах Коми АССР // Биологические исследования в Коми АССР. – Сыктывкар, 1968. – С. 38–46.
105. Соколова Т. А., Шоба С. А., Бганцов В. Н., Чернова Г. Н. Преобразования минеральной массы в подзолистых почвах на озерно-ледниковых глинах // Почвоведение. – 1983. – № 1. – С. 101–112.
106. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-02-99. – М.: 2015. – 120 с.
107. Старцев В. В. Реологические свойства преобладающих почв Приполярного Урала // Ломоносов–2018 : тезисы докладов 25 Межд. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: Секция "Почвоведение" (9–13 апреля 2018 г., г. Москва). – Москва : МАКС Пресс, 2018. – С. 261–262.
108. Старцев В. В., Хайдапова Д. Д., Дымов А. А. Органическое вещество и реологические свойства почв Приполярного Урала // Почвы в биосфере : сборник материалов Всеросс. науч. конф. с межд. участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск). – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – Т. 2. – С. 270–274.

109. Структурно-функциональная организация почв и почвенного покрова Европейского Северо-Востока / Отв. ред. Ф. Р. Зайдельман, И. В. Забоева. – Спб.: Наука, 2001. – 224 с.
110. Таскаев А. И., Арчегова И. Б. Экологическое обоснование рационального природовользования на европейском Севере // Арктика: экология и экономика. – 2011. – №2(2). – С.42-47.
111. Тектоника севера Русской плиты : Тр.ВНИИГРИ / Под. ред. В. А. Дедеева, С. М. Домрачева, Л. Н. Розанова. – Л.: Недра, 1969. – Вып. 275. – 167 с.
112. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. – 400 с.
113. Тонконогов В. Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. – 304 с.
114. Тонконогов В. Д. Причины формирования таежных и тундровых почв с дифференцированным по содержанию оксидов Fe и Al профилем // Почвоведение. – 2009. – № 4. – С. 387–390.
115. Тонконогов В. Д., Пастухов А. В., Забоева И. В. Генезис и классификационное положение автоморфных почв на покровных суглинках северной тайги Европы // Почвоведение. – 2006. – № 1. – С. 29–36.
116. Турсина Т. В. Микроморфологическая диагностика криогенных признаков в почвах // Проблемы почвенного криогенеза : материалы докладов IV Всесоюзной конференции. – Сыктывкар, 1985. – С. 32–33.
117. Тюлин А. Ф. Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 52 с.
118. Урьев Н. Б. Кинетика структурообразования в трехфазных дисперсных системах в динамических условиях (при вибрации) в процессах уплотнения // Коллоидный журнал. – 2002. – Т. 64, № 2. – С. 233–241.

119. Фишман М. В., Пыстин А. М. Геологическое строение // Атлас Республики Коми. – М.: Дизайн. Информация. Картография, 2001. – С. 26–27.
120. Фукс Г. И. О силах взаимодействия частиц в коагуляционной структуре // Тез. докл. Всес. конф. по колл. химии. – Киев : Изд. АН СССР, 1950. – С.75–77.
121. Фукс Г. И., Аbruкова Л. П., Бурибаев Я. Б. Влияние поглощенных оснований на реологические свойства почвообразующих глин // Почвоведение. – 1973. – № 10. – С. 70–90.
122. Хайдапова Д. Д., Холопов Ю. И., Забоева И. В., Лаптева Е. М. Реологические особенности коагуляционной структуры северотаяжных торфянисто-подзолисто-глееватых почв европейского северо-востока // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2014. – № 1. – С. 20–25.
123. Хайдапова Д. Д., Честнова В. В., Ключева В. В. Реологический подход к оценке деградации структуры почв // Роль почв в биосфере и жизни человека. – Москва : МАКС Пресс, 2015. – С. 124–126.
124. Хайдапова Д. Д., Честнова В. В., Шеин Е. В., Милановский Е. Ю. Реологические свойства черноземов типичных (Курская область) при различном землепользовании // Почвоведение. – 2016. – № 8. – С. 955–963.
125. Харитонов Г. В., Манучаров А. С. Реологические свойства луговых глеевых почв Приамурья и их изменения под воздействием антропогенного фактора // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 38–45.
126. Харитонов Г. В., Манучаров А. С., Васинова А. Г. Влияние лигниннопометного компоста на реологические свойства глинистых дифференцированных почв Среднеамурской низменности // Почвоведение. – 1992. – № 7. – С. 37–45.
127. Холопов Ю. В., Хайдапова Д. Д., Лаптева Е. М. Ландшафтные и подзональные закономерности проявления реологических свойств в почвах таяжной зоны европейского северо-востока России / Почвоведение -

продовольственной и экологической безопасности страны : тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции (15-22 августа 2016 г., г. Белгород). – Москва - Белгород : Издательский дом «Белгород», 2016. – С. 387–388.

128. Холопов Ю. В., Хайдапова Д. Д., Лаптева Е. М. Реологический метод исследований физико-механических свойств криометаморфических почв лесотундры / Материалы докладов международной научной конференции посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» (27-29 сентября 2017 г., г. Санкт-Петербург). – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2017. – С. 815-819.

129. Холопов Ю.В., Хайдапова Д.Д., Лаптева Е.М. Реологические свойства северотаежных автоморфных и полугидроморфных криометаморфических почв европейского северо-востока России (Республика Коми) // Почвоведение. 2018а. № 4. С. 439-450.

130. Холопов Ю. В., Хайдапова Д. Д. , Лаптева Е. М. Физико-механические свойства автоморфных таежных почв Республики Коми (по данным реологических исследований) // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2018б. № 42. С. 24–53.

131. Цытович Н. А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1979. – 272 с.

132. Чернов А. А. Геологическое строение // Производительные силы Коми АССР. Т.1. Геологическое строение и полезные ископаемые. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 34–256.

133. Честнова, В. В. Реологические свойства черноземов типичных Курской области: взаимосвязь с физическими свойствами и основной гидрофизической характеристикой : дис....канд. биол. наук : 06.01.03 / Честнова Вера Васильевна. – Москва, 2017. – 116 с.

134. Шамрикова Е. В. Кислотность почв таежной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России. – СПб.: Наука, 2013. – 160 с.

135. Шамрикова Е. В., Ванчикова Е. В., Соколова Т. А., Жангуров Е. В., Денева С. В., Боброва Ю. И., Кызьюрова Е. В. Возможные источники обменной кислотности в сильноокислых почвах ($\text{pH}_{\text{KCl}} < 3.3$) и оценка правильности её определения // Почвоведение. – 2018. – № 12. – С. 1431–1445.

136. Шамрикова Е. В., Груздев И. В., Пунегов В. В., Хабибуллина Ф. М., Кубик О. С. Водорастворимые низкомолекулярные органические кислоты в автоморфных суглинистых почвах тундры и тайги // Почвоведение. – 2013. – № 6. – С. 691–697.

137. Шамрикова Е.В., Пунегов В.В., Груздев И.В., Ванчикова Е.В., Ветошкина А.А. Индивидуальные органические соединения водных вытяжек из подзолистых почв Республики Коми // Почвоведение. – 2012. – №10. – С. 1066-1076.

138. Шеин Е. В. Курс физики почв. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2005. – 430 с.

139. Шеин Е. В., Болотов А. Г., Хайдапова Д. Д., Милановский Е. Ю., Тюгай З. Н., Початкова Т. Н. Реологические свойства черноземов Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014а. – № 8. – С. 32–38.

140. Шеин Е. В., Милановский Е. Ю., Хайдапова Д. Д., Быкова Г. С., Юдина А. А., Честнова В. В., Фомин Д. С., Ключева В. В. Современные приборные методы исследования гранулометрического состава, реологических характеристик и свойств поверхности твердой фазы почв // Вестник Оренбургского университета. – 2015. – Т. 181, № 6. – С. 140–145.

141. Шеин Е. В., Милановский Е. Ю., Хайдапова Д. Д., Дембовецкий А. В., Тюгай З. Н. Новые приборы для изучения физических свойств почв: 3D-томография, реологические параметры, контактный угол // Вестник

Алтайского государственного аграрного университета. – 2014б. – № 5 (115). – С. 44–48.

142. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии / Под ред. В.Г. Куличихина. – М.: Колос, 2003. – 311 с.

143. Щукин Е. Д. Физико-химическая теория прочности дисперсных структур и материалов // Физико-химическая механика природных дисперсных систем / Под ред. Щукина Е. Д. и др. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – С. 72–90.

144. Щукин Е. Д., Перцов А. В., Амелина Е. А. Коллоидная химия. – М.: Изд. МГУ, 1982. – 348 с.

145. Юдин Ю. П. Растительность // Производительные силы Коми АССР. Т. III. Растительный мир. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 16–42.

146. Baumgarten W. Soil microstructural stability as influenced by physicochemical parameters and its environmental relevance on multiple scales : Habilitation thesis. – Kiel University, 2013. – P. 263.

147. Dealy J. M. Rheometers for Molten Plastics; A Practical Guide to Testing and Property Measurement. – New-York: Van Nostrand Reinhold, – 1982. – 302 p.

148. Ghezzehei T. A., Or D. Rheological Properties of Wet Soils and Clays under Steady and Oscillatory Stresses // Soil Science Society of America Journal. – 2001. – Vol. 65 (3). – P. 624–637.

149. Horn R., Smucker A. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils // Soil Tillage. Res. – 2005. – Vol. 82. – P. 5–14.

150. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

151. Jones P. D., New M., Parker D. E., Martin S., Rigor I. O. Surface air temperature and its changes over the past 150 years // *Reviews of Geophysics*. – 1999. – Vol. 37(2). – P. 173–200.
152. Khaydapova D., Klyueva V., Kholopov Yu., Chestnova V. The rheological approach in an assessment of interparticle interactions in soils // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 201. – № 11. – P. 1–4.
153. Kholopov Y., Lapteva E., Khaydapova D. Structural-mechanical properties of taiga boggy-podzolic soils of the European North-East of Russia / Thesis of reports the 2nd International Conference on Rheology and Modeling of Materials (October 5-9, Miskolc-lillafured, Hungary). // Published in Hungary – Igreg Ltd, Igrici, Hungary. – 2015. – P. 35.
154. Markgraf W., Horn R., Peth S. An approach to rheometry in soil mechanics – Structural changes in bentonite, clayey and silty soils // *Soil and Tillage Research*. – 2006. – Vol. 91. – P. 1–14.
155. Markgraf W., Bellmann C., Caspari A., Horn R. Quantifying microstructural stability of South-Brazilian soils by the application of rheological techniques and zeta potential measurements // A Christian-Albrechts-University zu Kiel, Institute for Plant Nutrition and Soil Science, Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel, Germany, – 2010. – P. 1778–1782.
156. Markgraf W., Horn R. Rheological-stiffness analysis of K⁺-treated and CaCO₃-rich soils // *J. Plant Nutr. Soil. Sci.* – 2006. – Vol. 169(3). – P. 411–419.
157. Markgraf W., Watts C. W., Whalley W. R., Hrkac T., Horn R. Influence of organic matter on rheological properties of soil // *Appl. Clay Sci.* – 2012. – Vol. 64. – P. 25–33.
158. Mathieu G., Pieltain F. *Analyse physique des sols: methodes choisies*. – P.: Tec et Doc, 1998. – 275 p.
159. Mezger T. G. *The Rheology Handbook : 3rd Revised Ed.* – Hanover, 2011. – 436 p.

160. Or D., Ghezzehei T. A. Modeling post-tillage structural dynamics: a review // Soil and Tillage Research. – 2002. – Vol. 64. – P. 41–59.
161. Pertile P., Reichert J. M., Gubiani P. I., Holthusen D., Costa A. Rheological parameters as affected by water tension in subtropical soils // Revista Brasileira de ciência do solo. – 2016. – № 40:e0150286. – P. 1–14.
162. Scherer G. W. Viscous sintering with a pore-size distribution and rigid inclusions // J. Am. Ceram. Soc. – 1988. – Vol. 71 (10). – P. 447–448.
163. Silva H. R. Wetting-induced changes in near surface soil physical properties affecting surface irrigation : Ph.D. dissertation. – Logan : Utah State Univ. – 1995. – 188 p.
164. Stoppe N., Horn R. Microstructural strength of tidal soils - a rheometric approach to develop pedotransfer functions // J. Hydrol. Hydromech. – 2018. – Vol. 66. – P. 87–96.
165. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2015.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Краткая характеристика морфологического строения почв ключевых участков

Таблица 1 – Морфологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв южной тайги (Участок КУ-I)

Гори- зонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
Разрез Л-2 Дерново-подзолистая типичная текстурно-дифференцированная					
О	0–4	Темно-серый	–	Слаборазложившаяся рыхлая подстилка	–
AY	4–12	Темно-серый	Суглинок средний	Комковато-зернистый	Много мелких корней
EL	12–23	Белесо-палевый	Суглинок легкий	Слоисто-листоватый, слабоуплотнен	Мелкие корни
BEL	23–34	Светло-бурый	Суглинок средний	Мелкоореховатый	На гранях педов кремнеземистая присыпка
BEL	34–47	Бурый	Суглинок тяжелый	Мелкоореховатый	На гранях педов кремнеземистая присыпка
BT1	47–75	Коричневато-бурый	Суглинок тяжелый	Плитчатый, плитки распадаются на ореховатые отдельности	Отдельности с плотными кутанами светло-серой окраски
BT2	75–120	Бурый	Суглинок тяжелый	Ореховатый, тонкопористые агрегаты	Слабовыраженные кутаны
BC	120–130	Бурый	Суглинок тяжелый	Ореховатый, тонкопористые агрегаты	–
C	135–145	Бурый	Суглинок тяжелый	Ореховатый, тонкопористые агрегаты	–
Разрез Л-1 Дерново-подзолистая поверхностно-глееватая текстурно-дифференцированная					
О	0-4	Темно-серый	–	Слаборазложившаяся рыхлая подстилка	–
AYg	4–7	Темно-серый	Суглинок средний	Комковато-зернистый	Много мелких корней
ELg	7–14	Белесо-палевый	Суглинок легкий	Слоисто-листоватый, слабоуплотнен	Мелкие корни
BEL	14–27	Светло-бурый	Суглинок средний	Мелкоореховатый	На гранях педов кремнеземистая

Гори- зонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
BTel	27–40	Бурый	Суглинок средний	Мелкоореховатый	присыпка На гранях педов кремнеземистая присыпка
BT1	40–75	Коричневато- бурый	Суглинок тяжелый	Плитчатый, плитки распадаются на ореховатые отдельности	Отдельности с плотными кутанами светло-серой окраски
BT2	75–120	Бурый	Суглинок тяжелый	Ореховатый, тонкопористые агрегаты	Слабовыраженные кутаны
BC	120–135	Бурый	Суглинок тяжелый	Ореховатый	—
C	135–140	Бурый с редкими сизыми пятнами	Суглинок тяжелый	—	—
Разрез Л-3 Дерново-подзолистая глееватая текстурно-дифференцированная мелкоторфянистая					
T	0–12	Темно- коричневый	Оторфованный	—	—
AYg	12–15	Темно- коричневый	—	Зернистый	Обилие корней
ELg	15–23	Сизый с ржавыми пятнами	Суглинок средний	Бесструктурный	Редкие темно-бурые ортштейны, единичные корни
BELg	23–36	Светло-бурый	Суглинок тяжелый	Ореховато-плитчатый	Редкие бурые ортштейны
BT1	36–70	Бурый	Глина легкая	Многопорядковая структура, распадающаяся на крупные ореховатые отдельности	Кутаны на поверхности агрегатов
BT2	70–100	Бурый	Суглинок тяжелый	Многопорядковая структура, распадающаяся на крупные ореховатые отдельности	Кутаны на поверхности агрегатов
BCg	100–114	Бурый с сизыми пятнами	Глина легкая	Крупноплитчатый	—
BCg	114–135	Бурый с сизыми пятнами	Глина легкая	Крупноплитчатый	—

Гори- зонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
BCg	135–145	Бурий с сизыми пятнами	Глина легкая	Крупноплитчатый	—

Таблица 2 – Морфологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв средней тайги (Участок КУ-II)

Гори- зонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометричес- кий состав	Структура	Новообразования и включения
Разрез Р-1-П Подзолистая с микропрофилем подзола текстурно-дифференцированная					
О	0–5	Темно-коричневый	Оторфованный	Рыхлый	—
EL[e]	5–10	Белесый	Супесь	Листоватый, рыхлый	Темно-коричневые примазки
EL[hf]	10–15	Светло-ржавый с охристыми пятнами	Супесь	Порошистый, рыхлый	—
ELf	20–35	Палевый	Суглинок легкий	Слоеватый, слабоуплотнен	Единичные корни,
BEL1	35–42	Серовато-бурий	Суглинок легкий	Плитчато-комковатый, уплотнен	на гранях плиток кремнеземистая присыпка, глинистые кутаны
BEL2	45–60	Серовато-бурий	Суглинок тяжелый	Плитчато-мелкоореховатый, плотный	На гранях плиток кремнеземистая присыпка, глинистые кутаны
BT1	62–80	Бурий	Суглинок тяжелый	Среднеореховатый, плотный	На гранях плиток кремнеземистая присыпка, глинистые кутаны, марганцовистые примазки
BT2	80–100	Бурий	Суглинок средний	Ореховато-плитчатый, плотный, вязкий	На гранях плиток кремнеземистая присыпка, глинистые кутаны, черные марганцовистые примазки
BT3	100–120	Светло-бурий	Суглинок средний	Ореховато-плитчатый, тонкопористый	Слабая присыпка
BC	130–150		—		
BC	150–170		—		
Разрез Р-8-Х Торфяно-подзолисто-глеевая мелкоторфянистая текстурно-дифференцированная					
T1	0–6	Светло-коричневый	Оторфованный	Рыхлый	

Горизонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
T2 ELhi,g	6–13 13–19	Темно-коричневый Серо-сизый с ржаво-охристыми пятнами, к низу окраска становится более однородной – светло-серой	Оторфованный Супесь	Рыхлый Бесструктурный, рыхлый	В основании углистые остатки Много округлых ржаво-охристых конкреций до 5 мм в диаметре, тонкие корни
ELg	19–30	Неоднородно окрашен: на светло-сизом фоне желто-бурые пятна	Суглинок легкий	Слабоуплотнен, неясновыраженная комковато-ореховатая структура, размер структурных отдельностей до 10 мм	Встречаются округлые конкреции до 2-4 мм в диаметре
BELg	30–50	Бурой окраски	Суглинок легкий	Угловато-ореховатый, уплотнен	Значительное количество мелких ячеистых пор до 1 мм в диаметре, встречаются конкреции
BT1g	50–70	Коричнево-бурый,	Суглинок средний	Многопорядковая структура: трещиновато-плитчатая, плитки толщиной до 1 см распадаются на тонкие плитки и орехи, выражена вертикальная трещиноватость, очень плотный	На стенках трещин осветленные пылеватые скелетаны, на горизонтальной поверхности структурных отдельностей – глинистые кутаны
BT2g	70–90	Цвет неоднородный: на светло-буром фоне ржаво-охристые пятна.	Суглинок средний	Плитчато-слабо-призматическая, ореховатая структура, размер плиток 1.5-2 см, выражена вертикальная трещиноватость, плотный,	На поверхности трещин белесоватые скелетаны, в нижней части черные рыхлые железисто-марганцовистые примазки (5-7 мм)

Гори- зонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометричес- кий состав	Структура	Новообразования и включения
BCg	90–130	На сизоватом фоне коричнево-бурые пятна	Суглинок средний	вязкий, липкий Слабовыраженная комковато-плитчатая структура, плотный, вязкий, липкий	–
Разрез Р-З-П Торфяно-подзолисто-глеевая торфянистая текстурно-дифференцированная					
T1	0–7	Светло-коричневый	Оторфованный	Рыхлый	Тонкие корни
T2	7–20	Темно-коричневый	Оторфованный, средне разложенный	Рыхлый	
T3	20–24	Темно-коричневый	Оторфованный, хорошо разложенный	Рыхлый	Тонкие корни
ELhi,g	24–32	Темно-серый с коричневатым оттенком, сизые и ржавые пятна	Суглинок средний	Бесструктурный, слоеватый	
ELg	32–43	Серовато-бурый с сизыми и ржавыми пятнами	Суглинок средний	Мелкоплитчатый, местами мелкокомковатый	Конкреции охристо-бурого цвета от 2 мм до 4-5 мм в диаметре, тонкие корни
BELg	43–56	Светло-бурый с сизо- серыми пятнами	Суглинок средний	Мелкокомковатый	Обилий конкреций разного диаметра
BT1g	56–64	Сизовато-бурый	Суглинок легкий	Комковато-ореховатый	Мелкие конкреции
BT2g	64–77	Сизовато-бурый	Суглинок легкий	Плитчато-ореховатый	Черные примазки
BT3g	77–89	Светло-бурый с сизыми и охристыми пятнами	Суглинок средний	Плитчато-ореховатый	Черные примазки
BCg	89–120	Светло-бурый с сизыми и охристыми пятнами	Суглинок средний	Непрочно-комковато- ореховатый	Черные примазки

Таблица 3 – Морфологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв северной тайги (Участок КУ-III)

Горизонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
Разрез Р-3. Светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый					
О	0–8	Коричнево-бурый	Оторфованный	Рыхлый	–
Eg	8–13	Серовато-белесый с сизыми пятнами	Суглинок легкий	Листоватый	Конкреции черные мелкие
BHF	13–18	Ржаво-бурый с охристыми пятнами	Суглинок легкий	Мелкокомковато-порошистый	Конкреции ржаво-бурые округлые прочные
Bcrn	18–33	Бурый	Суглинок легкий	Мелкокомковато-мелкоореховатый, местами угловато-крупитчатый	–
CRM1	33–60	Бурый	Суглинок легкий	Угловато-крупитчатый, местами с ооидными агрегатами, слабо выраженная горизонтальная делимость	Конкреции черные и темно-коричневые мелкие непрочные
CRM2	60–70	Светло-бурый	Суглинок легкий	Комковато-мелкоореховатый с угловато-крупитчатыми и ооидными агрегатами, выражена горизонтальная делимость	По граням педов местами тонкие светлые скелетаны
CRM3	70–115	Светло-бурый	Суглинок легкий	Комковато-ореховатый, книзу крупнокомковатый с крупитчатыми агрегатами	По граням педов при подсыхании тонкие светлые скелетаны

Горизонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
BCg	115–145	Бурый с ржавыми пятнами	Суглинок легкий	Плитчатый	Конкреции мелкие, редко
Разрез Р-3-Х. Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый					
T1	0–8	Желто-коричневый	Оторфованный	Рыхлый	–
T2	8–17	Темно-коричневый	Оторфованный, в нижней части хорошо разложенный	Слегка уплотнен	–
ELhi,g	17–20	Буро-коричневый с сизыми пятнами	Супесь	Мелкокомковато- порошистый с признаками слеватости	Конкреции темно-коричневые крупные
ELg	22–30	Сизовато-серый	Супесь	Слоеватый	Конкреции охристо-палевые, черные примазки
Bcrm,g	30–50	Буро-палевый с сизыми и охристыми пятнами	Супесь	Мелко-комковатый с угловатыми гранями	Мелкие конкреции
CRM1g	50–60	Светло-бурый с сизыми и охристыми пятнами	Супесь	Мелкокомковато- мелокоореховатый с угловато-крупитчатыми агрегатами	Конкреции плотные до 2 мм в диаметре
CRM2g	60–80	Светло-бурый с сизыми и ржавыми пятнами	Супесь	Комковато-ореховатый с угловато-крупитчатыми агрегатами	Конкреции крупные, непрочные
CRM3,g	80–150	Бурый с сизыми и ржаво- охристыми пятнами	Суглинок легкий	Комковато-ореховатый	Конкреции черные мелкие
BCg	150–170	Бурый с сизыми пятнами с ржаво-охристым окаймлением	Суглинок легкий, ближе к среднему	Комковатый с признаками плитчатости	Конкреции черные мелкие и черные примазки
Cg	170–180	Бурый с сизыми пятнами с ржаво-охристым окаймлением	Суглинок легкий, ближе к среднему	Слабо оструктурен с признаками плитчатости	Конкреции черные мелкие и черные примазки
Разрез Р-2. Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый					
T1	0–7	Светло-желтый	Оторфованный	Рыхлый	–

Горизонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
T2	7–25	Буро-коричневый в верхней части, темно-коричневый – в нижней	Оторфованный, в нижней части хорошо разложенный, мажущий	Слегка уплотнен	–
ELhi,g	25–30	Бледно-коричневый в верхней части, сизовато-белесый – в нижней	Суглинок легкий	Слоеватый	Черные марганцовистые примазки, крупные ржаво-охристые конкреции
Bcrm,g	30–60	Светло-бурый с сизыми и охристыми пятнами	Супесь	Мелкокомковато-мелкоореховатый	Конкреции охристо-коричневые, крупные, непрочные
CRM1g	60–70	Светло-бурый с сизо-серыми пятнами и охристыми стяжениями	Супесь	Угловато-крупитчатый	Конкреции черные крупные, коричнево-черные мелкие примазки
CRM2g	70–90	Бурый с сизыми и охристыми пятнами	Супесь	Мелкокомковатый с угловато-крупитчатыми агрегатами	Конкреции черные крупные рыхлые
BCg	90–110	Бурый с сизыми и охристыми пятнами	Супесь	Слабо оструктурен с признаками крупной плитчатости	Черные примазки
Cg	110–130	Бурый с сизыми пятнами	Супесь	Слабо оструктурен с признаками плитчатости	Черные примазки

Таблица 4 – Морфологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв крайнесеверной тайги (Участок КУ-IV)

Горизонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
Разрез Р-39. Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый					

Горизонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
О	0–8	Коричнево-бурый	Оторфованный	Рыхлый	–
Eg,hi	4–8(14)	Серо-бурый с сизовато-серыми пятнами	Суглинок легкий	Листоватая	В верхней части гумусовые затеки
BHF	7–14	Буро-коричневый	Суглинок средний	Уплотнен, слабоплитчатый	–
BF	14– 17(19)	Буро-коричневый	Суглинок средний	Слабоплитчатый	–
Bcrm	17(19)– 30	Бурый	Суглинок средний	Менее плотный, крупнокомковатый	–
CRM1	30–46	Бурый	Суглинок средний	крупитчато- комковатой	–
CRM2	46–60	Бурый	Суглинок средний	Менее плотный, крупнокомковатый	–
CRM3	60–83	Бурый	Суглинок тяжелый	Менее плотный, крупнокомковатый	–
D	83–87	Красновато-бурый	Суглинок средний	Плотный, комковатый	Опесчанен, мелкая галька
Разрез Р-42. Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый					
T1	0–8	Желто-коричневый	Оторфованный	Рыхлый	–
T2	8–18	Темно-коричневый	Оторфованный, в нижней части хорошо разложенный	Слегка уплотнен	–
ELhi,g	18–20	Кофейно-бурый с сизыми пятнами	Суглинок легкий	Бесструктурный, местами мелкокомковатый	Мелкие конкреции
ELg,hi	20–30	Сизовато-бурый	Суглинок легкий	Слоеватый	Черные примазки, ржаво-охристые конкреции
Bcrm,g	30–40	Буро-палевый с сизыми и охристыми пятнами	Суглинок легкий	Мелкокомковато- мелкоореховатый	Конкреции охристо-коричневые, крупные, непрочные
CRM1g	40–50	Светло-бурый с сизыми и	Суглинок средний	Мелкокомковато-	Конкреции до 2 мм в диаметре

Горизонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
CRM2g	50–60	охристыми пятнами Светло-бурый с сизыми и ржавыми пятнами	Суглинок средний	мелокоореховатый с угловато- крупитчатыми агрегатами Комковато- ореховатый с угловато- крупитчатыми агрегатами	Конкреции крупные, непрочные
BCg	60–70	Бурый с сизыми и охристыми пятнами	Суглинок средний	Комковатый с признаками плитчатости	Черные примазки, включения щебня
Cg	70–80	Сизовато-бурый	Суглинок средний	Неясно комковатый	Черные примазки, включения щебня
Dg	80–100	Сизовато-бурый	Супесь	Слабо оструктурен с признаками плитчатости	Щебень, валуны
Разрез Р-71. Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый					
T1	0–7	Буро-коричневый	Средне разложенный	Рыхлый	–
T2	7–20	Темно-коричневый, близкий к черному	Хорошо разложенный	Слегка уплотнен	–
ELhi,g	20–25	Коричнево-бурый с сизоватыми пятнами	–	Мелко-комковатый	Мелкие конкреции
ELg,hi	25–30	Светло-бурый с сизоватыми пятнами	Суглинок средний	Слоеватый, структура слабо выражена	Мелкие конкреции
Bcrm,g	30–40	Сизоватый с бурым оттенком, местами с сизыми пятнами и ржавыми разводами	Суглинок легкий	Непрочно комковатый	Конкреции различного диаметра
Bcrm,g	40–50	Бурый с сизоватыми пятнами	Суглинок средний	Неясно комковатый	Конкреции мелкие

Горизонт	Глубина, см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
CRM1g	50–60	Бурый с сизыми пятнами вдоль пор	Суглинок средний	Угловато-крупитчатый, творжистый, агрегаты мелкие	Конкреции мелкие
CRM2g	60–70	Бурый с сизым окаймлением вдоль крупных пор	Суглинок средний	Комковато-ореховатый, агрегаты угловатые	Примазки
CRM3g	70–82	Бурый с единичными сизыми пятнами	Суглинок тяжелый	Комковато-ореховатый, агрегаты угловатые, крупнее по размеру	Примазки
BCg	82–100	Бурый с сизыми пятнами	Суглинок тяжелый	Комковатый	Примазки, коричневые пятна
BCg	100–110	Бурый с сизыми пятнами, окаймляющими поры	Суглинок тяжелый	Неясно плитчатый	Черные примазки, коричневые непрочные конкреции, крупные, диаметр до 2–4 мм
Cg	110–120	Бурый с сизыми пятнами, окаймляющими поры	Суглинок тяжелый	Неясно плитчатый, более плотный	Примазки

Таблица 5 – Морфологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв лесотундры (Участок КУ-V)

Горизонт	Глубина см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
Разрез Р-4-1. Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый					
Очес О1	0–3	Бурый	Опад березы Полуразложившийся слой лесной подстилки из остатков мхов, листьев березы	Рыхлый	Мелкие корни
О2	3–5	Темно-бурый	Оторфованная	Рыхлый	Корней больше, кр.ед. корни.

Горизонт	Глубина см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
Eg,hi	5–10(15)	Белесо-серый с буроватым прокрашиванием	подстика Суглинок легкий	Структура чешуйчатая, слабоуплотнен	Корней мало, в верхней части местами пропитан гумусом до 1 см, в нижней части имеются конкреции, граница волнистая, переход резкий
BF	10(15)– 14(27)	Ржаво-бурый, прерывистый, местами выклинивается в полосы	Суглинок легкий	Мелкокомковато- порошистый, более плотный	Конкреции ржавые, округлые, тонкие корни
Bcrm	14(27)– 45	Бурый	Суглинок легкий	Тонкоплитчатый, плитки распадаются на угловато- крупитчатые отдельности CRM, менее плотный	—
CRM	45–80	Бурый	Суглинок сред	Угловато-крупитчатый, рассыпчатый, к низу структура укрупняется, уплотнен	Корни только в верхней части, в верхней части тонкие поры, единичные примазки в нижней части горизонта
BCg	80–110	Бурый с сизыми и ржавыми пятнами	Суглинок средний	Плитчатый, уплотнен	—
Dg	110–140	Ржаво-бурый	Песчано-щебнистый	Уплотнен	—
Разрез Р-4-Х. Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый					
T1	0–7	Буро-коричневый	Слаборазложившийся растительный опад	Рыхлый	—
T2	7–13	Темно-коричневый	Оторфованный, в нижней части хорошо разложенный	Слегка уплотнен	—
ELhi,g	13–17	Кофейно-бурый с сизыми пятнами	Суглинок легкий пылеватый	Бесструктурный, слабо уплотнен	Много округлых конкреций 2-3 мм в диаметре, корни

Горизонт	Глубина см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
ELhi,g	17–25	Сизовато-серый с охристыми пятнами	Супесь	Листоватый, уплотнен, тиксотропный	Единичные корни, в нижней части охристая кайма с мелкими конкрециями
Bcrm,g	25–41	Светло-серый с сизоватым оттенком	Супесь	Мелко-комковатый	Мелкие железистые конкреции
CRMg	41–70	Сизо-бурый	Суглинок легкий	Мелкокомковато- мелокоореховатый, уплотнен	Железистые конкреции
BCg	70–91	Темно-бурый с сизым оттенком	Суглинок легкий	Комковато-ореховатый	Белесые кремнеземистые скелетаны по граням педов
Разрез Р-4-2. Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый					
T1	0–5	Светло-желтый	Оторфованный	Рыхлый	–
T2	5–25	Буро-коричневый в верхней части, темно- коричневый – в нижней	Оторфованный, в нижней части хорошо разложенный, мажущий	Слегка уплотнен	–
ELhi,g	25–29	Коричнево-бурый с сизоватыми пятнами	Суглинок легкий	Слоевато-чешуйчатый, уплотнен, при постукивании переходит в тиксотропное состояние	Конкреции коричневые
Bcrm,g	29–40	Сизоватый с бурым оттенком, местами более сизые пятна с ржавым окаймлением	Суглинок легкий	Непрочнокомковатая или творожистая, комки распадаются на тонкие чешуйчатые отдельности, уплотнен, тиксотропный	Конкреции коричневые
CRMg	40–65	Бурий, к низу появляются ржавые и сизые пятна	Суглинок средний	Творожистый с угловато- крупитчатыми отдельностями, менее плотный	Коричнево-черные мелкие примазки

Горизонт	Глубина см	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Новообразования и включения
Dg	65–80	Ржаво-бурый с сизыми пятнами	Суглинок средний, щебнистый	Уплотнен, валуны до 6-7 см	—

Результаты гранулометрического анализа почв ключевых участков

Таблица 1 – Гранулометрический состав автоморфных и полугидроморфных почв южной тайги (Участок КУ-I)

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
Разрез Л-2 Дерново-подзолистая типичная текстурно-дифференцированная									
AY (4–12)	1,69	0,86	9	3	57	7	13	11	30
EL (12–23)	1,19	0,43	4	4	64	7	12	9	27
BEL (23–34)	1,7	0,52	1	2	64	6	13	14	33
BEL (34–47)	2,87	0,74	1	2	55	4	9	29	41
BT1 (47–62)	3,68	0,94	1	0	50	5	8	36	50
BT1 (62–75)	3,91	0,97	1	1	48	5	7	38	50
BT2 (75–92)	3,96	0,88	1	1	49	5	5	39	49
BT2 (92–110)	4,15	0,7	1	3	46	3	10	37	50
BT2 (110–120)	4,22	1,05	1	0	46	7	9	37	53
Разрез Л-1 Дерново-подзолистая поверхностно-глееватая текстурно-дифференцированная									
AYg (4–7)	2,21	0,93	8	5	47	13	13	14	39
ELg (7–14)	1,1	0,4	2	4	66	11	9	8	27
BEL (14–27)	1,37	0,4	2	3	62	11	13	9	32
BTel (27–40)	1,53	0,66	1	5	63	6	13	12	31
BT1 40–60	3,12	0,67	1	1	55	7	9	27	43
BT1 60–75	3,68	1,15	1	1	51	6	9	32	47
BT2 75–100	4,08	0,84	0	0	50	7	6	37	50
BT2 100–120	4,07	1,1	1	0	48	7	6	38	51
Разрез Л-3 Дерново-подзолистая глееватая текстурно-дифференцированная мелкокорфянистая									
ELg (15–23)	1,94	0,89	5	3	55	9	10	18	37

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
BELg (23–36)	2,21	0,76	1	6	53	10	9	21	40
BT1 (36–50)	3,44	1,25	0	2	48	7	11	32	50
BT1 (50–70)	4,21	1,04	0	2	44	6	9	39	54
BT2 (70–88)	3,98	1,25	0	0	50	6	5	39	51
BT2 (88–100)	3,85	1,32	6	3	44	5	7	35	47
BCg (100–114)	4,09	1,2	0	0	46	9	7	38	53
BCg (114–135)	3,97	1,19	1	0	48	6	9	36	51
BCg (135–145)	3,87	1,38	2	0	44	9	8	37	54

Таблица 2 – Гранулометрический состав автоморфных и полугидроморфных почв средней тайги (Участок КУ-II)

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
Разрез Р-1-П Подзолистая с микропрофилем подзола текстурно-дифференцированная									
EL[e] (5–10)	0,54	0,61	1	24	58	5	7	5	17
EL[hf] (10–15)	1,03	0,99	3	22	57	3	6	9	18
ELf (20–35)	0,56	0,3	1	19	59	8	8	5	20
BEL1 (35–42)	1,14	0,66	1	20	51	5	9	14	28
BEL2 (45–60)	2,89	1,02	0	9	41	8	8	34	51
BT1 (62–80)	2,77	1,09	1	16	43	4	2	34	40
BT2 (80–100)	2,47	0,89	0	14	48	5	2	31	37
BT3 (100–120)	2,4	1,16	0	16	50	3	4	27	34

164

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
Разрез Р-3. Светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый									

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
Eg (8–13)	1,4	0,7	1	29	50	6	4	10	20
BHF (13–15)	2,8	2,3	3	44	29	4	6	15	24
BF (15–18)	2,5	1	2	28	47	5	6	12	22
Bcrm (18–33)	1,8	0,9	1	24	51	3	4	17	24
CRM1 (33–40)	1,8	0,7	1	26	49	5	4	15	23
CRM1 (40–50)	1,7	0,6	1	66	12	2	4	15	21
CRM1 (50–60)	1,7	0,7	0	30	48	3	4	15	23
CRM2 (60–70)	1,4	0,9	0	52	25	2	6	15	22
CRM3 (70–80)	1,6	0,6	0	34	45	2	4	15	21
CRM3 (80–90)	1,5	0,6	0	36	45	2	3	14	19
CRM3(93–115)	1,4	0,7	0	30	50	3	3	14	20
BC (115–130)	1,6	0,7	0	21	57	2	1	19	23
C (130–145)	1,6	0,5	0	24	56	2	3	15	20
Разрез Р-3-Х Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый									
ELhi,g (17–20)	3	1,9	10	33	42	2	2	11	15
ELg (20–30)	1,4	0,6	1	26	58	3	2	10	15
Bcrm,g (30–40)	1,1	0,3	0	20	66	1	4	9	14
Bcrm,g (40–50)	1,3	0,5	0	22	63	2	4	9	15
CRM1g (50–60)	1,3	0,6	0	48	34	4	4	10	18
CRM2g (60–80)	1,5	0,3	0	14	67	2	4	13	19
CRM3g (80–96)	2,4	0,6	0	9	65	2	3	21	26
CRM3g (96–118)	2,6	0,6	0	12	62	1	2	23	26
CRM3g (118–150)	2,6	0,5	0	15	58	4	3	20	27
BCg (150–170)	2,6	0,7	0	11	59	5	4	21	30
Cg (170–180)	2,6	0,6	6	10	54	3	6	21	30

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
Разрез Р-2 Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый									
ELhig (25–28)	3	0,9	6	20	53	4	7	10	22
ELhig (28–30)	1,9	0,8	1	22	56	4	4	13	21
Bcrm,g (30–40)	1,2	0,8	1	37	48	2	4	8	14
Bcrm,g (40–50)	1,1	0,4	1	29	58	2	3	7	13
Bcrm,g (50–60)	0,8	0,7	1	27	57	4	3	8	15
CRM1g(60–70)	1,1	0,1	2	26	58	4	2	8	14
CRM2g(70–90)	1,1	0	1	27	58	3	3	8	14
BCg (90–110)	1,8	0	4	35	45	3	5	8	16
BCg (110–130)	1,3	0,8	0	20	62	4	2	12	18

Таблица 4 – Гранулометрический состав автоморфных и полугидроморфных почв крайнесеверной тайги (Участок КУ-IV)

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
Разрез Р-39 Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый									
Eg,hi (4–7)	2,09	0,27	4	17	49	6	9	15	29
BHF(7–14)	2,86	2,01	6	8	48	9	8	21	38
BF(14–17)	2,45	1,73	2	1	59	8	7	23	38
Bcrm (17–30)	2,08	1,1	1	3	61	5	9	21	35
CRM1(33–46)	1,89	0,55	1	4	61	6	7	21	34
CRM2(46–60)	2,43	0,79	1	2	59	5	10	23	37

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
CRM3(70–83)	2,76	0,68	3	7	45	9	8	28	46
D (83–87)	2,04	0,43	27	19	18	7	9	20	36
Разрез Р-42 Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый									
ELhi,g (18–20)	1,38	0,91	24	9	41	7	5	14	25
ELg,hi (20–30)	1,55	0,67	7	27	40	4	7	15	26
Bcrm,g (30–40)	1,37	0,79	14	25	36	4	6	15	24
CRM1g (40–50)	2,01	0,05	3	7	57	9	8	16	33
CRM2g (50–60)	2,04	0,44	4	21	41	8	7	19	34
BCg (60–70)	2,02	0,76	2	11	54	6	7	20	33
Cg (70–80)	2,59	0,56	7	26	29	7	9	22	38
Cg (80–100)	0,83	0,47	52	18	15	4	3	8	15
Разрез Р-71 Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый									
ELhi,g (20–25)	1,97	1,18	9	1	45	9	11	25	45
ELg,hi (25–30)	1,14	0,75	1	4	66	9	6	14	29
Bcrm,g (30–40)	0,92	0,49	1	5	68	9	5	12	26
Bcrm,g (40–50)	1,46	0,68	1	6	59	8	8	18	34
CRM1g (50–60)	2,34	0,11	1	7	56	9	7	20	36
CRM2g (60–70)	1,53	0,54	1	6	55	11	7	20	38
CRM3g (70–82)	1,56	1,05	1	1	58	7	8	25	40
BCg (82–100)	2,2	0,9	0	1	52	6	7	34	46
BCg (100–110)	1,97	0,88	0	3	53	5	4	35	43
Cg (110–120)	1,87	0,96	1	2	52	5	10	30	45

Таблица 5 – Гранулометрический состав автоморфных и полугидроморфных почв лесотундры (Участок КУ-V)

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке HCl, %	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0,01 мм
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
Разрез Р-4-1. Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый									
Eg,hi (5–15)	1,02	0,85	0	8	67	4	8	13	24
BF (15–27)	1,36	1,29	3	11	58	7	4	17	28
Bcrm (27–45)	1,32	0,75	1	12	59	5	3	20	27
CRM (45–80)	1,31	0,83	0	14	54	4	8	20	31
BCg (80–110)	1,54	0,73	0	19	46	7	5	23	35
Dg (110–140)	0,81	0,2	44	22	19	2	6	7	15
Разрез Р-4-X. Светлозем мелкторфянистый потечно-гумусовый глееватый									
ELhi,g (13–17)	7,1	0,8	3	18	53	8	6	12	26
ELhi,g (17–25)	1,1	0,2	0	19	62	5	4	10	19
Bcrm,g (25–41)	1,2	0,5	1	24	59	4	4	8	16
CRMg (41–70)	1,7	0,5	0	45	33	5	6	11	22
BCg (70–90)	1,6	0,5	0	22	58	5	6	9	20
Р-4-2 Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый									
ELhi,g (25–29)	0,88	0,69	2	12	64	7	6	9	22
Bcrm,g (29–40)	0,81	0,38	2	12	63	7	4	12	23
CRMg (40–65)	1,67	0,75	5	15	42	6	7	25	38
Dg (65–80)	1,83	1	25	8	34	3	5	25	32

Физико-химические показатели почв ключевых участков

Таблица 1 – Физико-химические свойства автоморфных и полугидроморфных почв южной тайги (Участок КУ-І)

Горизонт, (глубина, см)	Гигроско- пическая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы смоль/кг почвы		Vs	По Тамму, %		Fe ₂ O ₃ по Джексону, %
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
Разрез Л-2 Дерново-подзолистая типичная текстурно-дифференцированная															
O1	-	5,15±0,10	4,80±0,10	1,2	0,6	1,8	41,1±4,9	42,3±1,5	1,45±0,16	33,7±2,5	6,0±0,5	49	-	-	-
O2	-	4,87±0,10	4,33±0,10	0,14	0,4	0,5	45,9±5,5	32,7±1,2	1,1±0,1	30,0±2,2	3,81±0,29	42	-	-	-
AY (4–12)	1,69	4,35±0,10	3,55±0,10	0,03	2,3	2,3	11,5±1,4	1,17±0,27	0,084±0,017	0,82±0,14	0,38±0,04	9	1,39±0,21	0,29±0,07	1,81
EL (12–23)	1,19	4,56±0,10	3,81±0,10	-	-	-	7,76±0,93	0,3±0,07	0,031±0,009	0,63±0,11	0,38±0,04	12	0,55±0,08	0,23±0,05	0,76
BTel (23–34)	1,7	4,88±0,10	3,78±0,10	0,02	2,7	2,7	8,34±1,00	0,25±0,06	0,031±0,009	1,81±0,16	1,57±0,16	29	0,38±0,13	0,29±0,07	0,86
BTel (34–47)	2,87	5,14±0,10	3,64±0,10	0,05	2,8	2,9	9,04±1,08	0,23±0,05	0,031±0,009	7,1±0,5	4,8±0,4	57	0,43±0,06	0,36±0,09	1,2
BT1 (47–62)	3,68	5,17±0,10	3,59±0,10	-	-	-	8,65±1,04	0,24±0,06	0,036±0,010	10,2±0,8	7,2±0,5	67	0,31±0,11	0,37±0,09	1,3
BT1 (62–75)	3,91	5,22±0,10	3,58±0,10	-	-	-	7,28±0,87	0,2±0,04	0,034±0,010	11,8±0,9	8,2±0,6	73	0,27±0,09	0,30±0,07	1,28
BT2 (75–92)	3,96	5,30±0,10	3,63±0,10	-	-	-	6,38±0,77	0,19±0,04	0,035±0,010	12,4±0,9	8,6±0,6	77	0,26±0,09	0,31±0,08	1,23
BT2 (92–110)	4,15	5,36±0,10	3,69±0,10	-	-	-	5,73±0,69	0,22±0,05	0,033±0,010	13,6±1,1	9,6±0,7	80	0,21±0,07	0,24±0,06	1,35
BT2 (110–120)	4,22	5,55±0,10	3,79±0,10	-	-	-	5,03±0,60	0,19±0,04	0,036±0,010	14,5±1,1	10,2±0,8	83	0,22±0,08	0,24±0,06	1,3
BC (120–130)	-	5,63±0,10	3,83±0,10	-	-	-	4,52±0,54	-	-	13±1,0	9,1±0,7	83	0,25±0,09	0,24±0,06	1,22
C (135–145)	-	5,67±0,10	3,97±0,10	-	-	-	2,74±0,33	-	-	6,6±0,5	3,81±0,29	79	0,21±0,07	0,13±0,03	1,15
Разрез Л-1 Дерново-подзолистая поверхностно-глееватая текстурно-дифференцированная															
O1	-	5,03±0,10	4,53±0,10	-	-	-	37,5±4,5	38,7±1,4	1,36±0,15	6,2±0,5	2,91±0,22	20	-	-	-
O2	-	4,17±0,10	3,47±0,10	-	-	-	45,9±5,5	21,0±2,1	0,62±0,07	1,4±0,1	0,84±0,08	5	-	-	-
AY (4-7)	2,21	4,31±0,10	3,48±0,10	-	-	-	14,2±1,7	2,4±0,4	0,145±0,029	0,8±0,1	0,49±0,05	8	1,41±0,21	0,32±0,08	1,72
EL (7-14)	1,1	4,65±0,10	3,77±0,10	-	-	-	6,69±0,80	0,30±0,07	0,033±0,010	1,2±0,1	1,06±0,11	25	0,70±0,11	0,18±0,04	0,79
BTel (14-27)	1,37	4,85±0,10	3,74±0,10	-	-	-	5,98±0,72	0,26±0,06	0,033±0,010	4,2±0,2	2,66±0,20	54	1,01±0,15	0,33±0,08	1,9

Горизонт, (глубина, см)	Гигроско- пическая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы смоль/кг почвы		Vs	По Тамму, %		Fe ₂ O ₃ по Джексону, %
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
BT1 (27-40)	1,53	5,14±0,10	3,68±0,10	-	-	-	5,14±0,62	0,16±0,04	0,024±0,007	10,3±0,8	6,3±0,5	76	0,47±0,07	0,19±0,05	0,81
BT1 (40-60)	3,12	5,38±0,10	3,76±0,10	-	-	-	5,25±0,63	0,22±0,05	0,037±0,011	12,3±0,9	7,8±0,6	79	0,61±0,09	0,37±0,09	1,12
BT2 (60-75)	3,68	5,23±0,10	3,86±0,10	-	-	-	4,61±0,55	0,20±0,04	0,036±0,010	14,1±1,1	8,0±0,6	83	0,49±0,07	0,35±0,08	1,27
BT2 (75-100)	4,08	5,62±0,10	3,87±0,10	-	-	-	4,71±0,57	0,21±0,05	0,035±0,010	14,2±1,1	8,7±0,7	83	0,48±0,07	0,44±0,11	1,24
BT3 (100-120)	4,07	5,73±0,10	3,94±0,10	-	-	-	4,05±0,49	0,18±0,04	0,033±0,010	14,8±1,1	9,1±0,7	86	0,38±0,13	0,39±0,09	1,26
BC (120-135)	-	5,73±0,10	3,99±0,10	-	-	-	3,96±0,48			14,6±1,1	8,9±0,7	86	0,33±0,11	0,33±0,08	1,24
C(135-140)	-	5,81±0,10	4,01±0,10	-	-	-	3,79±0,45			7,4±0,6	1,86±0,19	71	0,38±0,13	0,4±0,1	1,3
Разрез Л-3 Дерново-подзолистая глееватая текстурно-дифференцированная мелкокорфянистая															
T1	-	4,72±0,10	4,00±0,10	-	-	-	51,4±6,2	43,2±1,5	1,25±0,14	21,7±1,6	4,9±0,4	34	-	-	-
T2	-	4,43±0,10	3,75±0,10	-	-	-	61,6±7,4	39,8±1,4	1,79±0,20	6,6±0,5	3,27±0,25	14	-	-	-
T3	-	4,48±0,10	3,8±0,10	-	-	-	45,9±5,5	22,0±2,2	1,11±0,12	36,9±2,8	17,3±1,3	54	-	-	-
AY	1,94	4,37±0,10	3,48±0,10	-	-	-	35,0±4,2	9,2±0,9	0,62±0,07	1,5±0,1	1,21±0,12	7	1,82±0,27	0,69±0,17	1,95
EL (15-23)	2,21	4,86±0,10	3,79±0,10	-	-	-	9,64±1,2	0,71±0,16	0,08±0,016	2,5±0,2	2,56±0,19	35	0,54±0,08	0,52±0,12	1,24
BTel (23-36)	3,44	5,15±0,10	3,77±0,10	-	-	-	7,59±0,91	0,25±0,06	0,037±0,011	10,3±0,8	6,3±0,5	69	1,00±0,15	0,50±0,12	1,04
BT1 (36-50)	4,21	5,33±0,10	3,76±0,10	-	-	-	6,53±0,78	0,26±0,06	0,044±0,009	13,7±1,0	7,5±0,6	76	0,39±0,13	0,29±0,07	1,19
BT1 (50-70)	3,98	5,50±0,10	3,93±0,10	-	-	-	4,82±0,58	0,28±0,06	0,049±0,010	13,9±1,0	7,4±0,6	82	0,32±0,11	0,3±0,07	1,22
BT2 (70-88)	3,85	5,81±0,10	4,02±0,10	-	-	-	3,96±0,48	0,22±0,05	0,044±0,009	13,3±1,0	8±0,6	84	0,3±0,10	0,3±0,07	1,11
BT2 (88-100)	4,09	5,98±0,10	4,07±0,10	-	-	-	3,48±0,42	0,19±0,04	0,041±0,008	14,8±1,1	8,6±0,6	87	0,28±0,10	0,27±0,06	1,11
BT3 (100-114)	3,97	5,92±0,10	4,11±0,10	-	-	-	3,4±0,41	0,19±0,04	0,039±0,011	14,6±1,1	8,7±0,7	87	0,39±0,13	0,4±0,1	1,14
BC (114-135)	3,87	5,94±0,10	4,18±0,10	-	-	-	3,26±0,39	0,20±0,05	0,043±0,009	14,1±1,1	8,5±0,6	87	0,39±0,13	0,4±0,1	1,14
C (135-145)	1,94	6,06±0,10	4,22±0,10	-	-	-	2,99±0,36	0,24±0,06	0,043±0,009	9,7±0,7	2,58±0,19	80	0,35±0,12	0,33±0,08	1,3

Примечание. Здесь и далее: Нг – гидролитическая кислотность; Vs – сумма обменных оснований

Таблица 2 – Физико-химические свойства автоморфных и полугидроморфных почв средней тайги (Участок КУ-II)

Горизонт, (глубина, см)	Гигроско- пическая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы, смоль/кг почвы		Vs	По Тамму,%		По Джексону,%, Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
Разрез Р-1-П Подзолистая с микропрофилем подзола текстурно-дифференцированный															
О (0–5)	5,5	-	-	0,64	4,96	5,6	43,9±5,3	33,50±1,40	1,550±0,230	30,5±2,3	19,1±1,4	53	-	-	-
El[e] (5–10)	0,54	4,62±0,10	3,94±0,10	0,06	2,21	2,27	4,61±0,55	0,31±0,07	0,020±0,006	0,60±0,10	1,10±0,11	30	0,31±0,10	0,15±0,04	0,36
El[hf] (10–15)	1,03	4,48±0,10	3,87±0,10	0,01	1,71	1,72	7,92±0,95	0,70±0,04	0,051±0,010	0,60±0,10	0,200±0,020	14	0,56±0,08	0,23±0,05	0,58
Elf (20–35)	0,56	4,89±0,10	3,86±0,10	0,01	2,07	2,08	3,82±0,46	0,16±0,04	0,018±0,005	0,90±1,40	0,60±0,06	26	0,37±0,13	0,14±0,03	0,54
BEI (35–42)	1,14	5,14±0,10	3,64±0,10	0,01	2,07	2,08	4,82±0,58	0,14±0,03	0,021±0,006	1,80±0,16	0,80±0,08	37	0,46±0,07	0,17±0,04	0,69
BEI (45–60)	2,89	5,13±0,10	3,53±0,10	0,01	2,83	2,84	8,11±0,97	0,38±0,09	0,058±0,012	4,7±0,4	2,40±0,18	58	0,76±0,11	0,39±0,09	1,08
BT1 (62–80)	2,77	5,40±0,10	3,72±0,10	0,02	0,92	0,94	5,11±0,61	0,20±0,05	0,035±0,010	9,0±0,7	2,60±0,20	77	0,41±0,06	0,28±0,07	0,81
BT2 (80–100)	2,47	5,77±0,10	4,00±0,10	0,01	0,33	0,34	3,4±0,41	0,16±0,04	0,032±0,009	11,3±0,8	2,20±0,17	85	0,33±0,11	0,24±0,06	0,75
BT3 (100–120)	2,4	-	-	0,004	0,02	0,02	-	0,18±0,04	0,028±0,008	11,3±0,8	3,20±0,24	-	0,41±0,06	0,26±0,06	0,81
BC 130–150	-	7,10±0,10	5,75±0,10	-	-	-	1,13±0,14	0,17±0,04	0,030±0,009	11,2±0,8	3,70±0,28	93	0,24±0,08	0,17±0,04	-
BC 150–170	-	7,58±0,10	6,63±0,10	-	-	-	0,6±0,07	0,17±0,04	0,030±0,009	14,0±1,1	3,80±0,29	97	0,20±0,07	0,18±0,04	-
Разрез Р-8-Х Торфяно-подзолисто-глеевая мелкторфянистая текстурно-дифференцированная															
T1 (0–6)	11,5	4,37±0,10	4,03±0,10	1,67	4,5	6,17	61,6±7,4	42,1±1,4	1,59±0,29	21,89±1,64	3,71±0,28	29	0,17±0,06	0,24±0,06	1,2
T2 (6–13)	8,3	4,14±0,10	4,07±0,10	0,5	14	14,5	61,6±7,4	26,5±0,8	1,03±0,18	3,07±0,23	1,25±0,13	7	0,89±0,13	0,73±0,18	0,9
E(13–19)	2,4	4,49±0,10	3,91±0,10	0,08	7,03	7,12	8,65±1,04	0,57±0,13	0,052±0,014	0,33±0,06	0,23±0,02	6	0,65±0,10	0,26±0,06	1,1
BE(19–30)	2	4,91±0,10	3,99±0,10	0,07	4,85	4,92	6,38±0,77	0,19±0,06	<0,030	1,56±0,14	0,94±0,09	28	0,49±0,07	0,26±0,06	0,9
Bt (30–50)	2,7	5,33±0,10	4,09±0,10	0,05	3,03	3,08	5,73±0,69	0,18±0,05	<0,030	5,92±0,53	2,1±0,16	58	0,37±0,13	0,28±0,07	1,2
BT1(50–70)	4,1	5,45±0,10	4,42±0,10	0,07	0,92	0,98	3,56±0,43	0,2±0,06	<0,030	12,36±0,93	3,78±0,28	82	0,26±0,09	0,30±0,07	1,3
BT2(70–90)	3,9	6,16±0,10	4,73±0,10	0,05	0,3	0,35	2,68±0,32	0,16±0,05	<0,030	12,07±0,91	3,77±0,28	86	0,23±0,08	0,24±0,06	1,1
BC(90–130)	3,3	6,07±0,10	4,91±0,10	0,08	0,07	0,15	1,98±0,24	0,15±0,05	<0,030	11,18±0,84	3,56±0,27	88	0,17±0,06	0,20±0,05	1,3
C(130–140)	3,2	6,49±0,10	5,51±0,10	0,03	0,02	0,05	1,13±0,14	0,20±0,05	<0,030	13,01±0,98	3,47±0,26	94			

Горизонт, (глубина, см)	Гигроско- пическая влаги, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	C, %	N, %	Обменные катионы, смоль/кг почвы		Vs	По Тамму,%		По Джексона,%, Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
Разрез Р-3-П Торфяно-подзолисто-глеевая торфянистая текстурно-дифференцированный															
T1	-	3,90±0,10	3,16±0,10	-	-	-	82,5±9,9	44,4±1,6	1,30±0,14	24,67±1,85	4,75±0,36	26	-	-	-
T2	-	4,18±0,10	3,56±0,10	-	-	-	68,0±8,16	37,4±1,3	1,78±0,20	22,18±1,66	2,62±0,20	27	-	-	-
T3	-	4,33±0,10	3,78±0,10	-	-	-	53,8±6,46	16,2±1,6	0,77±0,08	5,60±0,42	1,68±0,13	12	-	-	-
Elhi (24–32)	4,51	4,43±0,10	3,78±0,10	-	-	-	16,6±1,99	11,8±2,7	0,43±0,09	-	-	0	0,29±0,10	0,98±0,24	0,34
Elhi (32–43)	3,33	4,53±0,10	3,81±0,10	-	-	-	17,3±2,08	5,2±0,5	0,21±0,04	1,40±0,10	0,56±0,11	10	0,59±0,09	0,57±0,14	0,66
Bt (43–56)	2,31	4,66±0,10	3,64±0,10	-	-	-	11,7±1,4	0,44±0,10	0,041±0,008	1,83±0,14	1,00±0,10	19	0,98±0,15	1,82±0,44	1,29
BT1 (56–64)	2,12	4,77±0,10	3,60±0,10	-	-	-	9,64±1,16	0,16±0,04	0,017±0,005	2,35±0,18	1,40±0,14	28	0,67±0,10	0,32±0,08	0,91
BT2 (64–77)	2,03	5,00±0,10	3,62±0,10	-	-	-	7,28±0,87	0,13±0,03	0,019±0,006	5,78±0,43	2,31±0,23	53	0,52±0,08	0,30±0,07	0,77
BT3 (77–89)	2,13	5,30±0,10	3,72±0,10	-	-	-	5,03±0,60	0,115±0,026	0,018±0,005	7,23±0,54	3,08±0,23	67	0,41±0,06	0,22±0,05	0,72
BC (89–100)	2,19	5,36±0,10	3,81±0,10	-	-	-	4,14±0,50	0,117±0,027	0,019±0,006	8,25±0,62	3,62±0,27	74	0,37±0,13	0,20±0,05	0,83
BC (100–120)	2,01	5,66±0,10	3,93±0,10	-	-	-	3,4±0,41	0,128±0,029	0,019±0,006	8,47±0,64	3,67±0,28	78	0,38±0,13	0,17±0,04	0,74
C 120–130	-	5,70±0,10	4,02±0,10	-	-	-	2,99±0,36	-	-	8,43±0,63	3,70±0,28	80	0,44±0,07	0,17±0,04	0,81

Таблица 3 – Физико-химические свойства автоморфных и полугидроморфных почв северной тайги (Участок КУ-III)

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопи- ческая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы смоль/кг почвы		Vs	По Тамму,%		По Джексона,% Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
Разрез Р-3. Светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый															
O1 (0–4)	9,6	4,40±0,10	3,05±0,10	-	-	-	-	46,1±0,5	1,46±0,26	-	-	-	-	-	-
O2 (4–8)	9,3	3,60±0,10	2,60±0,10	-	-	-	-	44,8±0,4	1,29±0,23	-	-	-	-	-	-
Eg (8–13)	1,4	3,61±0,10	2,76±0,10	-	-	-	-	1,54±0,28	0,078±0,021	0,71±0,12	0,250±0,025	-	0,070±0,024	0,20±0,05	0,13

Горизонт (глубина, см)	Гигроскопи- ческая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы смоль/кг почвы		Vs	По Тамму,%		По Джексоу,% Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
BHF (13–15)	2,9	4,13±0,10	3,46±0,10	-	-	-	-	2,20±0,40	0,110±0,019	0,71±0,12	0,210±0,021	-	1,38±0,21	0,67±0,16	1,42
BF (15–18)	2,2	4,42±0,10	3,82±0,10	-	-	-	-	1,09±0,20	0,061±0,016	0,61±0,10	0,17±0,03	-	1,11±0,17	0,86±0,21	1
Bcrm (18–33)	2	4,51±0,10	3,81±0,10	-	-	-	-	0,71±0,16	0,061±0,014	0,64±0,11	0,200±0,020	-	0,83±0,12	0,68±0,16	0,96
CRM1 (33–40)	1,8	4,67±0,10	3,82±0,10	-	-	-	-	0,39±0,12	0,041±0,011	0,66±0,11	0,240±0,024	-	0,65±0,10	0,54±0,13	0,89
CRM1 (40–50)	1,8	4,80±0,10	3,82±0,10	-	-	-	-	0,30±0,09	0,033±0,009	0,76±0,13	0,31±0,03	-	0,56±0,08	0,47±0,11	0,81
CRM1 (50–60)	1,7	4,81±0,10	3,82±0,10	-	-	-	-	0,27±0,08	0,033±0,009	0,75±0,13	0,37±0,04	-	0,53±0,08	0,49±0,12	0,86
CRM2 (60–70)	1,7	4,90±0,10	3,80±0,10	-	-	-	-	0,24±0,07	0,030±0,008	0,9±0,15	0,44±0,04	-	0,41±0,06	0,45±0,11	0,66
CRM3 (70–80)	1,6	4,98±0,10	3,81±0,10	-	-	-	-	0,21±0,06	< 0,030	1,10±0,10	0,57±0,06	-	0,35±0,12	0,41±0,10	0,62
CRM3 (80–90)	1,6	5,01±0,10	3,81±0,10	-	-	-	-	0,19±0,06	< 0,030	1,28±0,12	0,64±0,06	-	0,31±0,11	0,35±0,08	0,61
CRM3(93–115)	1,4	5,09±0,10	3,77±0,10	-	-	-	-	0,16±0,05	< 0,030	1,60±0,14	0,83±0,08	-	0,3±0,10	0,32±0,08	0,6
BC (115–130)	1,7	5,06±0,10	3,72±0,10	-	-	-	-	0,16±0,05	< 0,030	2,10±0,19	1,06±0,11	-	0,41±0,06	0,33±0,08	0,68
C (130–145)	1,4	5,05±0,10	3,74±0,10	-	-	-	-	0,16±0,05	< 0,030	2,18±0,20	1,14±0,11	-	0,38±0,13	0,29±0,07	0,69
Разрез Р-3-Х Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый															
T1 (0–8)	13,6	3,74±0,10	2,89±0,10	1,3	28	29,33	77,1±9,3	44,4±1,4	0,81±0,15	1,91±0,17	1,66±0,17	4	0,04±0,01	0,17±0,04	0
T2 (8–14)	13,7	3,92±0,10	3,15±0,10	1,2	42,16	43,33	82,5±9,9	44,6±1,4	1,04±0,19	0,86±0,15	0,49±0,05	2	0,43±0,06	0,71±0,17	0,4
T3 (14–17)	13,3	3,94±0,10	3,50±0,10	0,3	61,34	61,67	80,6±9,7	37,7±1,2	1,28±0,23	0,35±0,06	0,24±0,02	1	1,68±0,25	1,19±0,29	2,1
ELhi,g (17–20)	2	3,81±0,10	3,50±0,10	0,1	6,9	7	24,0±2,9	7,8±1,4	0,40±0,07	0,11±0,02	0,04±0,01	1	0,17±0,03	0,60±0,14	0,2
ELg (20–30)	1,4	4,34±0,10	4,05±0,10	0,05	5,47	5,52	8,1±1,0	0,47±0,14	0,037±0,010	0,08±0,01	0,03±0,01	1	0,46±0,07	0,34±0,08	0,8
Bcrm,g (30–40)	1,1	4,54±0,10	4,10±0,10	0,03	3,68	3,72	5,7±0,7	0,31±0,09	<0,030	0,21±0,04	0,14±0,03	6	0,33±0,11	0,28±0,07	0,6
Bcrm,g(40–50)	1,3	4,60±0,10	4,06±0,10	0,05	3,47	3,52	6,0±0,7	0,24±0,07	<0,030	0,21±0,04	0,15±0,03	6	0,38±0,13	0,29±0,07	0,6
CRM1g(50–60)	1,3	4,73±0,10	4,08±0,10	0,003	3,44	3,47	6,2±0,7	0,33±0,10	0,032±0,008	0,43±0,07	0,27±0,03	10	0,51±0,08	0,35±0,08	0,7
CRM2g(60–80)	1,5	4,99±0,10	3,89±0,10	0,003	3,5	3,53	5,7±0,7	<0,15	<0,030	6,88±0,52	1,00±0,08	58	0,29±0,10	0,21±0,05	0,7
CRM3g(80–96)	2,4	5,08±0,10	3,82±0,10	0,003	3,27	3,3	5,8±0,7	<0,15	<0,030	4,54±0,41	2,60±0,20	55	0,47±0,07	0,28±0,07	1,05
CRM3g(96–118)	2,6	5,18±0,10	3,84±0,10	0,003	4,94	4,97	5,2±0,6	0,16±0,05	<0,030	6,6±0,50	3,58±0,27	66	-	-	-
CRM3g (118–150)	2,6	5,07±0,10	3,92±0,10	0,003	1,34	1,37	5,7±0,7	0,17±0,05	<0,030	7,89±0,59	4,47±0,34	68	0,44±0,07	0,20±0,05	1,2

Таблица 4 – Физико-химические свойства автоморфных и полугидроморфных почв крайнесеверной тайги (КУ-IV)

Горизонт (глубина, см)	Гигроско- пическая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы, смоль/кг почвы		Vs	По Тамму, %		По Джексоу,% Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
Разрез Р-39 Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый															

Горизонт (глубина, см)	Гигроско- пическая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы, смоль/кг почвы		Vs	По Тамму, %		По Джексону,% Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
O1 (0–2)	8,78	4,60±0,10	3,80±0,10	1,5	3,67	5,17	49,2±5,9	43,8±1,4	1,52±0,27	0,57±0,10	0,14±0,03	1	-	-	-
O2 (2–4)	8,01	4,45±0,10	3,46±0,10	2,17	3,33	5,5	39,3±4,7	41,8±1,3	1,59±0,29	0,43±0,07	0,10±0,02	1	-	-	-
Eg,hi (4–8(14))	1,62	4,58±0,10	3,60±0,10	0,33	10,05	10,38	11,0±1,3	2,0±0,4	0,113±0,019	-	-	-	0,45±0,07	0,35±0,08	0,52
BHF(7–14)	2,56	4,57±0,10	3,98±0,10	0,28	9,3	9,58	13,3±1,6	2,6±0,5	0,165±0,028	0,18±0,03	0,04±0,01	2	1,32±0,20	0,71±0,17	1,96
BF(14–17(19))	2,25	4,77±0,10	4,22±0,10	0,07	7,45	7,52	9,84±1,18	1,47±0,26	0,104±0,018	0,16±0,03	0,04±0,01	2	0,95±0,14	0,93±0,22	1,42
Bcrm (17(19)–30)	1,9	4,90±0,10	4,25±0,10	0,03	6,95	6,98	7,92±0,95	1,58±0,13	0,052±0,014	0,11±0,02	0,04±0,01	2	0,39±0,13	0,65±0,16	0,85
CRM1(33–46)	1,84	5,01±0,10	4,15±0,10	0,05	8,27	8,32	8,28±0,99	0,36±0,11	0,043±0,011	0,09±0,02	0,020±0,004	1	0,39±0,13	0,52±0,13	0,86
CRM2 (46–60)	2,39	5,23±0,10	4,06±0,10	0,07	8,93	9	5,14±0,62	0,29±0,09	0,038±0,010	0,10±0,02	0,03±0,01	2	0,39±0,13	0,46±0,11	0,91
CRM3 (70–83)	2,6	5,26±0,10	3,90±0,10	0,08	8,23	8,32	8,65±1,04	0,28±0,08	0,046±0,012	0,13±0,02	0,05±0,01	2	0,45±0,07	0,45±0,11	1,13
D (83–87)	2,05	5,64±0,10	3,92±0,10	0,03	3,92	3,95	5,03±0,60	0,20±0,06	0,033±0,008	0,18±0,03	0,07±0,01	5	0,46±0,07	0,26±0,06	0,81
Разрез Р-42 Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый															
СЖМ	9,12	4,42±0,10	3,69±0,10	9,33	7,17	16,5	51,4±6,2	42,6±1,4	1,07±0,19	0,36±0,06	0,16±0,03	1	-	-	-
Очес	9,8	4,38±0,10	3,50±0,10	3,65	5,85	9,5	60,2±7,2	40,8±1,3	0,87±0,16	0,38±0,06	0,12±0,02	1	-	-	-
T1 (0–4)	10,8	4,02±0,10	3,20±0,10	3	10	13	72,1±8,7	42,7±1,4	0,96±0,17	0,26±0,04	0,09±0,02	0,5	-	-	-
T2 (4–8)	11,05	4,16±0,10	3,45±0,10	1,5	20,17	21,67	68±8,2	42,7±1,4	1,64±0,29	0,15±0,03	0,06±0,01	0,3	-	-	-
T3 (8–18)	10,28	4,19±0,10	3,60±0,10	1,67	19,83	21,5	65,5±7,9	41,0±1,3	1,7±0,3	0,11±0,02	0,04±0,01	0,2	-	-	-
ELhi,g (18–20)	1,37	4,60±0,10	3,93±0,10	0,05	5,85	5,9	7,59±0,91	1,38±0,25	0,08±0,021	0,07±0,01	0,020±0,004	1	0,5±0,08	0,30±0,07	0,59
ELg,hi (20–30)	1,57	4,99±0,10	4,00±0,10	0,03	5,95	5,98	6,81±0,82	0,41±0,12	0,039±0,010	0,06±0,01	0,04±0,01	1	0,73±0,11	0,32±0,08	0,91
Bcrm (30–40)	1,44	5,18±0,10	4,08±0,10	0,02	5,1	5,12	6,11±0,73	0,28±0,08	0,037±0,010	0,07±0,01	0,04±0,01	2	0,71±0,11	0,33±0,08	0,93
CRM1 (40–50)	1,55	5,43±0,10	4,50±0,10	0,03	6,23	6,27	6,38±0,77	0,27±0,06	0,032±0,008	-	-	-	0,41±0,06	0,37±0,09	0,77
CRM2 (50–60)	2,07	5,38±0,10	3,98±0,10	0,03	6,88	6,92	7,41±0,89	0,24±0,07	0,036±0,009	0,05±0,01	0,03±0,01	1	0,43±0,06	0,36±0,09	0,81
BC (60–70)	2,09	5,41±0,10	3,93±0,10	0,03	6,18	6,22	7,11±0,85	0,29±0,09	0,036±0,009	0,05±0,01	0,03±0,01	1	0,37±0,13	0,35±0,08	0,9
C (70–80)	2,61	5,04±0,10	3,95±0,10	0,07	7,87	7,93	8,11±0,97	0,27±0,08	0,036±0,009	0,05±0,01	0,03±0,01	1	0,37±0,13	0,38±0,09	0,97
C (80–100)	0,88	5,39±0,10	4,17±0,10	0,02	3,18	3,2	4,42±0,53	0,19±0,06	<0,030	0,05±0,01	0,020±0,004	2	0,27±0,09	0,19±0,05	0,5
Разрез Р-71 Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый															

Горизонт (глубина, см)	Гигроско- пическая влажность, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг, смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы, смоль/кг почвы		Vs	По Тамму, %		По Джексона, % Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
СЖМ	6,11	-	-	-	-	-	-	44,6±1,4	1,12±0,20	-	-	-	-	-	-
T1 (0–3)	7,55	-	-	-	-	-	-	42,6±1,4	0,85±0,15	-	-	-	-	-	-
T2 (3–7)	6,41	-	-	-	-	-	-	42,6±1,4	1,36±0,24	-	-	-	-	-	-
T3 (7–20)	4,93	-	-	-	-	-	-	36,7±1,2	1,8±0,3	-	-	-	-	-	-
ELhi,g (20–25)	1,54	4,90±0,10	3,83±0,10	0,15	9,26	9,41	11,5±1,4	3,2±0,6	0,18±0,03	1,23±0,11	0,44±0,09	13	1,37±0,21	0,56±0,13	1,09
ELg,hi (25–30)	0,75	4,93±0,10	3,80±0,10	0,03	5,91	5,94	6,11±0,73	0,57±0,13	0,044±0,011	0,47±0,08	0,29±0,03	11	0,91±0,14	0,24±0,06	0,81
Bcrm (30–40)	0,62	5,18±0,10	3,25±0,10	0,02	2,41	2,43	4,61±0,55	0,30±0,09	0,032±0,008	0,52±0,09	0,35±0,04	16	0,75±0,11	0,25±0,06	0,66
Bcrm(40–50)	1	5,19±0,10	3,84±0,10	0,03	5,29	5,32	6,53±0,78	0,29±0,09	0,039±0,010	1,00±0,09	0,89±0,09	23	0,96±0,14	0,34±0,08	0,98
CRM1 (50–60)	1,02	5,35±0,10	3,85±0,10	0,03	4,89	4,92	5,73±0,69	0,23±0,07	<0,030	2,79±0,25	1,34±0,13	42	1,07±0,16	0,37±0,09	0,9
CRM2 (60–70)	1,07	5,35±0,10	3,85±0,10	0,03	4,22	4,26	5,03±0,60	0,20±0,06	0,036±0,009	4,12±0,31	2,19±0,16	56	0,96±0,14	0,35±0,08	0,87
CRM3 (70–82)	1,29	5,50±0,10	3,87±0,10	0,03	2,64	2,67	4,32±0,52	0,20±0,06	0,033±0,009	6,52±0,49	4,03±0,30	71	0,80±0,12	0,33±0,08	0,86
BCg(82–100)	1,6	5,71±0,10	4,03±0,10	0,07	1,62	1,68	3,71±0,45	0,20±0,06	0,035±0,009	9,61±0,72	6,23±0,47	81	0,51±0,08	0,3±0,07	0,88
BCg (100–110)	1,52	5,68±0,10	3,89±0,10	0,05	2,03	2,08	4,05±0,49	0,20±0,06	0,032±0,008	8,75±0,66	5,72±0,43	78	0,59±0,09	0,34±0,08	0,84
Cg (110–120)	1,66	5,88±0,10	4,20±0,10	0,05	1,04	1,09	2,74±0,33	0,19±0,06	0,035±0,009	10,18±0,76	6,37±0,48	86	0,47±0,07	0,29±0,07	0,92

Таблица 5 – Физико-химические свойства автоморфных и полугидроморфных почв лесотундры (Участок КУ-V)

Горизонт (глубина, см)	Гигроско- пическая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы смоль/кг почвы		Vs	По Тамму,%		По Джексону,% Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
Разрез Р-4-1. Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый															
O1(0–3)	4,22	4,33±0,10	3,48±0,10	-	-	-	67,1±8,1	42,7±1,4	1,51±0,27	15,8±1,2	3,64±0,27	22	-	-	-
O2(3–5)	5,96	4,22±0,10	3,34±0,10	-	-	-	65,5±7,7	36,2±1,2	1,32±0,24	7,3±0,5	2,87±0,21	13	-	-	-
Eg,hi (5–(10)15)	0,84	4,1±0,10	3,71±0,10	-	-	-	10,8±1,3	1,03±0,18	0,056±0,015	0,4±0,07	0,206±0,021	5	0,55±0,08	0,29±0,0693	0,71
BF	1,11	4,31±0,10	4,00±0,10	-	-	-	9,2±1,1	0,87±0,20	0,064±0,017	0,4±0,07	0,2±0,04	6	1,10±0,16	0,52±0,12	1,19

Горизонт (глубина, см)	Гигроско- - пическая влага, %	pH		Обменная кислотность, смоль/кг почвы			Нг смоль/кг почвы	С, %	N, %	Обменные катионы смоль/кг почвы		Vs	По Тамму,%		По Джексону,% Fe ₂ O ₃
		H ₂ O	KCl	H	Al	Сумма H+Al				Ca ²⁺	Mg ²⁺		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
(10)15–(14)27															
Bcrm ((14)27–45)	0,98	4,34±0,10	3,86±0,10	-	-	-	9,8±1,2	0,43±0,13	0,045±0,012	0,4±0,07	0,263±0,026	6	0,64±0,10	0,41±0,10	0,69
CRM (45–80)	0,97	4,49±0,10	3,89±0,10	-	-	-	9,0±1,1	0,3±0,09	0,042±0,011	0,46±0,08	0,34±0,03	8	0,58±0,09	0,41±0,10	0,68
BCg (80–110)	1,1	4,73±0,10	3,79±0,10	-	-	-	10,3±1,2	0,23±0,07	0,033±0,008	0,97±0,17	0,85±0,09	15	0,57±0,09	0,39±0,09	0,67
Dg (110–140)	0,58	4,76±0,10	3,87±0,10	-	-	-	5,4±0,7	0,17±0,05	0,03±0,008	0,8±0,14	0,64±0,06	21	0,64±0,10	0,22±0,05	0,75
Разрез Р-4-Х Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый															
T1 (0–7)	10,8	4,1±0,10	3,3±0,10	1,33	6	4,67	70,5±8,5	45,2	1,16	10,5±0,8	5,4±0,54	18	0,06±0,02	0,05±0,01	1
T2 (7–13)	7,6	3,9±0,10	3,4±0,10	0,67	19,33	18,66	70,5±8,5	36,4	1,19	1,48±0,13	1,04±0,10	3	0,87±0,13	0,76±0,18	1,2
ELhi,g (13–17)	7,1	4,3±0,10	3,6±0,10	0,03	5,97	5,94	10,5±1,3	2,00±0,40	0,124±0,020	0,10±0,02	0,09±0,02	2	0,65±0,10	0,29±0,07	0,9
Elhi,g (17–25)	1,1	4,4±0,10	3,9±0,10	0,02	2,63	2,61	4,8±0,6	0,24±0,07	0,03	0,48±0,08	0,38±0,04	15	0,40±0,06	0,17±0,04	0,6
Bcrm (25–41)	1,2	4,4±0,10	3,9±0,10	0,02	4,03	4,01	6,5±0,8	0,55±0,13	0,042±0,011	0,06±0,01	0,07±0,01	2	0,52±0,08	0,22±0,05	0,7
CRMg (41–70)	1,7	5,1±0,10	3,9±0,10	0,02	3,95	3,93	5,2±0,6	0,2±0,06	0,031±0,008	1,67±0,15	1,27±0,13	36	0,41±0,06	0,21±0,05	0,7
BCg (70–90)	1,6	5,1±0,10	3,9±0,10	0,02	2,08	2,06	4,2±0,5	0,22±0,07	0,035±0,009	1,34±0,10	1,08±0,11	36	0,46±0,07	0,22±0,05	0,7
Разрез Р-4-2 Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый															
Очес	5,96	4,62±0,10	3,85±0,10	-	-	-	53,8±6,5	44,9±1,4	0,87±0,16	11,1±0,8	8,0±0,6	26	-	-	-
T1 (0–5)	6,09	4,21±0,10	3,36±0,10	-	-	-	65,5±7,9	45,9±1,5	0,97±0,18	11,7±0,9	6,4±0,5	22	-	-	-
T2 (5–20)	6,82	3,85±0,10	3,13±0,10	-	-	-	92,3±11,1	44,2±1,4	0,86±0,16	6,7±0,5	5,6±0,4	12	-	-	-
T3 (20–25)	0,78	4,08±0,10	3,42±0,10	-	-	-	90,2±10,8	42,4±1,4	1,29±0,23	3,5±0,3	2,74±0,21	6	-	-	-
ELhi,g (25–29)	0,74	4,13±0,10	3,59±0,10	-	-	-	9,8±1,2	1,02±0,18	0,068±0,018	0,38±0,06	0,201±0,020	6	0,63±0,10	0,21±0,05	0,84
Bcrm,g (29–40)	0,67	4,55±0,10	3,58±0,10	-	-	-	7,3±0,9	0,29±0,09	0,03±0,008	0,91±0,16	0,75±0,07	19	0,59±0,09	0,21±0,05	0,69
CRMg (40–65)	1,32	5,03±0,10	3,44±0,10	-	-	-	8,10±1,10	0,21±0,06	0,036±0,010	5,4±0,4	4,1±0,3	54	0,69±0,10	0,30±0,07	0,73
Dg (65–80)	1,4	5,34±0,10	3,62±0,10	-	-	-	5,7±0,7	0,27±0,08	0,04±0,010	6,4±0,5	4,9±0,4	66	0,92±0,14	0,24±0,06	1,02

Результаты реологических исследований почв ключевых участков

Таблица 1 – Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв южной тайги (Участок КУ-І)

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE- range, %		Модуль упругости G', Pa		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
Разрез Л-2 Дерново-подзолистая типичная текстурно-дифференцированная											
AY	4–12	31,9	3,8	0,00328	0,00043	1,23·10 ⁶	0,16·10 ⁶	1,57	0,18	1,02	0,13
EL	12–23	27,5	3,3	0,00328	0,00043	1,13·10 ⁶	0,14·10 ⁶	5,18	0,61	3,54	0,46
BEL	23–34	30,1	3,6	0,00327	0,00043	1,16·10 ⁶	0,15·10 ⁶	3,48	0,41	2,36	0,31
BEL	34–47	33,3	4,0	0,00328	0,00043	7,79·10 ⁵	1,00·10 ⁵	4,16	0,49	2,87	0,37
BT1	47–62	37,6	4,5	0,00488	0,00064	6,29·10 ⁵	0,81·10 ⁵	4,16	0,49	2,78	0,36
BT1	62–75	37,9	4,5	0,00488	0,00064	6,36·10 ⁵	0,81·10 ⁵	4,16	0,49	2,31	0,30
BT2	75–92	36,0	4,3	0,00488	0,00064	6,00·10 ⁵	0,77·10 ⁵	4,16	0,49	2,36	0,31
BT2	92–110	39,0	4,7	0,00726	0,00095	5,15·10 ⁵	0,66·10 ⁵	4,16	0,49	2,58	0,34
BT2	110–120	39,0	4,7	0,00726	0,00095	4,74·10 ⁵	0,61·10 ⁵	4,16	0,49	2,21	0,29
Разрез Л-1 Дерново-подзолистая поверхностно-глееватая текстурно-дифференцированная											
Ayg	4–7	35,8	4,3	0,00328	0,00043	9,98·10 ⁵	1,28·10 ⁵	1,88	0,22	1,13	0,15
Elg	7–14	27,9	3,3	0,00328	0,00043	1,00·10 ⁶	0,13·10 ⁶	6,19	0,72	4,85	0,63
BEL	14–27	26,8	3,2	0,00326	0,00043	1,06·10 ⁶	0,14·10 ⁶	6,19	0,72	4,67	0,61
Btel	27–40	26,9	3,2	0,00488	0,00064	6,49·10 ⁵	0,83·10 ⁵	4,16	0,49	2,80	0,36
BT1	40–60	33,9	4,1	0,00327	0,00043	8,24·10 ⁵	1,06·10 ⁵	3,48	0,41	1,95	0,25
BT1	60–75	36,3	4,4	0,00488	0,00064	6,31·10 ⁵	0,81·10 ⁵	3,48	0,41	2,05	0,27

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE-range, %		Модуль упругости G', Па		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
BT2	75–100	37,9	4,5	0,00488	0,00064	$5,44 \cdot 10^5$	$0,70 \cdot 10^5$	3,48	0,41	2,09	0,27
BT2	100–120	37,3	4,5	0,00726	0,00095	$4,41 \cdot 10^5$	$0,56 \cdot 10^5$	3,48	0,41	1,97	0,26
Разрез Л-3 Дерново-подзолистая глееватая текстурно-дифференцированная мелкоторфянистая											
AYg	10–15	50,9	6,1	0,00728	0,00096	$4,04 \cdot 10^5$	$0,52 \cdot 10^5$	6,21	0,73	3,06	0,40
ELg	15–23	33,0	4,0	0,00327	0,00043	$1,12 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^6$	6,20	0,72	4,20	0,55
Belg	23–36	29,5	3,5	0,00328	0,00043	$9,61 \cdot 10^5$	$1,23 \cdot 10^5$	5,18	0,61	3,19	0,41
BT1	36–50	35,0	4,2	0,00488	0,00064	$7,77 \cdot 10^5$	$1,00 \cdot 10^5$	4,16	0,49	2,94	0,38
BT1	50–70	39,3	4,7	0,00488	0,00064	$6,19 \cdot 10^5$	$0,79 \cdot 10^5$	4,16	0,49	2,43	0,32
BT2	70–88	36,6	4,4	0,00488	0,00064	$5,96 \cdot 10^5$	$0,76 \cdot 10^5$	3,48	0,41	2,21	0,29
BT2	88–100	37,5	4,5	0,00488	0,00064	$5,66 \cdot 10^5$	$0,73 \cdot 10^5$	3,48	0,41	2,09	0,27
BCg	100–114	37,0	4,4	0,00726	0,00095	$4,60 \cdot 10^5$	$0,59 \cdot 10^5$	3,48	0,41	1,92	0,25
BCg	114–135	36,7	4,4	0,00488	0,00064	$5,55 \cdot 10^5$	$0,71 \cdot 10^5$	2,80	0,33	1,65	0,21
BCg	135–145	35,6	4,3	0,00726	0,00095	$5,22 \cdot 10^5$	$0,67 \cdot 10^5$	2,80	0,33	1,59	0,21

Таблица 2 – Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв средней тайги (Участок КУ-II)

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE-range, %		Модуль упругости G', Па		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
Разрез Р-1-П Подзолистая с микропрофилем подзола текстурно-дифференцированный											
EL[e]	10–15	8,3	1,0	0,00328	0,00043	1,29·10 ⁶	0,17·10 ⁶	2,80	0,33	2,26	0,29
EL[hf]	15–25	28,4	3,4	0,00328	0,00043	1,36·10 ⁶	0,17·10 ⁶	2,80	0,33	1,63	0,21

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE-range, %		Модуль упругости G', Па		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
BEL1	35–42	24,7	3,0	0,00328	0,00043	$9,34 \cdot 10^5$	$1,20 \cdot 10^5$	2,34	0,27	1,62	0,21
BEL2	45–60	32,7	3,9	0,00488	0,00064	$8,79 \cdot 10^5$	$1,13 \cdot 10^5$	2,34	0,27	1,33	0,17
BT1	62–80	33,0	4,0	0,00488	0,00064	$6,72 \cdot 10^5$	$0,86 \cdot 10^5$	2,34	0,27	1,44	0,19
BT2	80–100	31,9	3,8	0,00488	0,00064	$5,83 \cdot 10^5$	$0,75 \cdot 10^5$	2,34	0,27	1,54	0,20
BT3	100–120	31,4	3,8	0,00488	0,00064	$4,65 \cdot 10^5$	$0,60 \cdot 10^5$	2,34	0,27	1,45	0,19
Разрез Р-8-Х Торфянисто-подзолисто-глеевая мелкоторфянистая текстурно-дифференцированная											
ELhi,g	13–19	25,9	3,1	0,00220	0,00029	$1,71 \cdot 10^6$	$0,22 \cdot 10^6$	1,15	0,13	0,67	0,09
ELg	19–30	24,3	2,9	0,00220	0,00029	$1,71 \cdot 10^6$	$0,22 \cdot 10^6$	1,49	0,17	0,99	0,13
BELg	30–50	27,4	3,3	0,00328	0,00043	$1,06 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^6$	1,48	0,17	0,92	0,12
BT1g	50–70	31,3	3,8	0,00220	0,00029	$8,78 \cdot 10^5$	$1,12 \cdot 10^5$	1,80	0,21	1,06	0,14
BT2g	70–90	30,5	3,7	0,00488	0,00064	$6,87 \cdot 10^5$	$0,88 \cdot 10^5$	1,88	0,22	1,10	0,14
BCg	90–130	30,0	3,6	0,00488	0,00064	$6,20 \cdot 10^5$	$0,79 \cdot 10^5$	1,93	0,23	1,14	0,15
Cg	130–140	30,0	3,6	0,00488	0,00064	$5,95 \cdot 10^5$	$0,76 \cdot 10^5$	2,05	0,24	1,16	0,15
Разрез Р-3-П Торфяно-подзолисто-глеевая торфянистая текстурно-дифференцированная											
ELhi,g	24–32	55,0	6,6	0,00726	0,00095	$5,07 \cdot 10^5$	$0,65 \cdot 10^5$	3,48	0,41	1,98	0,26
ELg	32–43	41,3	5,0	0,00328	0,00043	$9,37 \cdot 10^5$	$1,20 \cdot 10^5$	2,34	0,27	1,39	0,18
BELg	43–56	35,0	4,2	0,00488	0,00064	$1,05 \cdot 10^6$	$0,13 \cdot 10^6$	5,18	0,61	3,28	0,43
BT1g	56–64	32,2	3,9	0,00328	0,00043	$9,10 \cdot 10^5$	$1,17 \cdot 10^5$	3,48	0,41	2,60	0,34
BT2g	64–77	32,0	3,8	0,00488	0,00064	$8,43 \cdot 10^5$	$1,08 \cdot 10^5$	3,48	0,41	2,46	0,32
BT3g	77–89	31,9	3,8	0,00488	0,00064	$6,63 \cdot 10^5$	$0,85 \cdot 10^5$	3,48	0,41	2,17	0,28
BCg	89–100	31,6	3,8	0,00488	0,00064	$6,04 \cdot 10^5$	$0,77 \cdot 10^5$	5,18	0,61	3,20	0,42
BCg	100–120	31,3	3,8	0,00488	0,00064	$6,14 \cdot 10^5$	$0,79 \cdot 10^5$	3,48	0,41	2,19	0,28

Таблица 3 – Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв северной тайги (Участок КУ-III)

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE- range, %		Модуль упругости G', Па		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
Разрез Р-3. Светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый											
Eg	8–13	51,5	6,2	0,00328	0,00043	2,28·10 ⁶	0,29·10 ⁶	4,16	0,49	2,38	0,31
BHF	13–15	46,9	5,6	0,00328	0,00043	3,66·10 ⁶	0,47·10 ⁶	2,69	0,31	1,54	0,20
BF	15–18	38,1	4,6	0,00148	0,00019	2,51·10 ⁶	0,32·10 ⁶	2,03	0,24	0,95	0,12
Bcrm	18–33	39,8	4,8	0,00149	0,00020	1,94·10 ⁶	0,25·10 ⁶	2,93	0,34	1,93	0,25
CRM1	33–40	39,0	4,7	0,00149	0,00020	1,53·10 ⁶	0,20·10 ⁶	2,17	0,25	1,39	0,18
CRM1	40–50	36,9	4,4	0,00221	0,00029	2,08·10 ⁶	0,27·10 ⁶	3,05	0,36	2,04	0,27
CRM1	50–60	36,4	4,4	0,00221	0,00029	1,96·10 ⁶	0,25·10 ⁶	1,85	0,22	0,99	0,13
CRM2	60–70	36,6	4,4	0,00221	0,00029	1,59·10 ⁶	0,20·10 ⁶	3,75	0,44	2,62	0,34
CRM3	70–80	36,0	4,3	0,00221	0,00029	4,25·10 ⁵	0,54·10 ⁵	3,42	0,40	2,33	0,30
CRM3	80–90	34,0	4,1	0,00148	0,00019	6,45·10 ⁵	0,83·10 ⁵	2,09	0,24	1,39	0,18
CRM3	93–115	34,0	4,1	0,00328	0,00043	1,30·10 ⁶	0,17·10 ⁶	2,80	0,33	1,90	0,25
BC	115–130	36,7	4,4	0,00148	0,00019	1,13·10 ⁶	0,14·10 ⁶	2,03	0,24	1,31	0,17
C	130–145	32,9	3,9	0,00148	0,00019	2,61·10 ⁵	0,33·10 ⁵	3,07	0,36	1,99	0,26
Разрез Р-3-Х. Светлозем мелкторфянистый потечно-гумусовый глееватый											
ELhi,g	17–20	44,8	5,4	0,00488	0,0006	7,70·10 ⁵	0,99·10 ⁵	3,37	0,39	1,78	0,23
ELg	20–30	24,1	2,9	0,00221	0,0003	1,10·10 ⁶	0,14·10 ⁶	1,28	0,15	0,89	0,12
Bcrm,g	30–40	23,0	2,8	0,00327	0,0004	1,58·10 ⁶	0,20·10 ⁶	1,14	0,13	0,66	0,09
Bcrm,g	40–50	23,3	2,8	0,00150	0,0002	1,79·10 ⁶	0,23·10 ⁶	1,98	0,23	1,85	0,24
CRM1g	50–60	25,3	3,0	0,00222	0,0003	2,76·10 ⁶	0,35·10 ⁶	0,54	0,06	0,34	0,04
CRM2g	60–80	25,2	3,0	0,00222	0,0003	1,23·10 ⁶	0,16·10 ⁶	6,59	0,77	4,84	0,63
CRM3g	80–96	28,6	3,4	0,00327	0,0004	1,73·10 ⁶	0,22·10 ⁶	1,24	0,14	0,76	0,10

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE-range, %		Модуль упругости G', Pa		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
CRM3g	96–118	30,0	3,6	0,00325	0,0004	$1,09 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^6$	1,41	0,16	0,86	0,11
CRM3g	118–150	28,9	3,5	0,00328	0,0004	$9,50 \cdot 10^5$	$1,22 \cdot 10^5$	1,72	0,20	1,15	0,15
BCg	150–170	27,7	3,3	0,00328	0,0004	$8,32 \cdot 10^5$	$1,07 \cdot 10^5$	1,39	0,16	0,90	0,12
Cg	170–180	29,2	3,5	0,00488	0,0006	$7,03 \cdot 10^5$	$0,90 \cdot 10^5$	1,72	0,20	1,10	0,14
Разрез Р-2. Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый											
ELhi,g	25–28	45,6	5,5	0,00328	0,0004	$6,25 \cdot 10^5$	$0,80 \cdot 10^5$	2,24	0,26	1,27	0,17
ELhi,g	28–30	32,1	3,9	0,00221	0,0003	$1,14 \cdot 10^6$	$0,15 \cdot 10^6$	1,16	0,14	0,27	0,04
Bcrm,g	30–40	23,9	2,9	0,00150	0,0002	$1,86 \cdot 10^6$	$0,24 \cdot 10^6$	0,58	0,07	0,36	0,05
Bcrm,g	40–50	22,3	2,7	0,00220	0,0003	$1,33 \cdot 10^6$	$0,17 \cdot 10^6$	1,18	0,14	0,77	0,10
Bcrm,g	50–60	22,6	2,7	0,00220	0,0003	$1,87 \cdot 10^6$	$0,24 \cdot 10^6$	3,81	0,44	2,85	0,37
CRM1g	60–70	21,6	2,6	0,00220	0,0003	$1,47 \cdot 10^6$	$0,19 \cdot 10^6$	4,11	0,48	2,98	0,39
CRM2g	70–90	23,1	2,8	0,00328	0,0004	$1,12 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^6$	2,22	0,26	1,36	0,18
BCg	90–110	23,6	2,8	0,00148	0,0002	$1,23 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	6,11	0,71	4,48	0,58
BCg	110–130	24,0	2,9	0,00148	0,0002	$1,35 \cdot 10^6$	$0,17 \cdot 10^6$	5,26	0,61	3,35	0,44

Таблица 4 – Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв крайнесеверной тайги (Участок КУ-IV)

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE- range, %		Модуль упругости G', Pa		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
Разрез Р-39. Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый поверхностно-глееватый											
Eg,hi	4–8(14)	33,0	4,0	0,00328	0,00043	1,15·10 ⁶	0,15·10 ⁶	2,34	0,27	1,13	0,15
BHF	7–14	34,5	4,1	0,00149	0,00020	1,84·10 ⁶	0,24·10 ⁶	1,01	0,12	0,56	0,07

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE-range, %		Модуль упругости G', Па		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
BF	14–17(19)	31,0	3,7	0,00150	0,00020	$1,52 \cdot 10^6$	$0,19 \cdot 10^6$	1,22	0,14	0,70	0,09
Bcrm	17(19)–30	29,0	3,5	0,00220	0,00029	$2,24 \cdot 10^6$	$0,29 \cdot 10^6$	1,03	0,12	0,66	0,09
CRM1	33–46	26,2	3,1	0,00148	0,00019	$1,74 \cdot 10^6$	$0,22 \cdot 10^6$	1,19	0,14	0,76	0,10
CRM2	46–60	26,5	3,2	0,00151	0,00020	$2,29 \cdot 10^6$	$0,29 \cdot 10^6$	1,30	0,15	0,85	0,11
CRM3	70–83	27,1	3,3	0,00220	0,00029	$1,37 \cdot 10^6$	$0,18 \cdot 10^6$	1,27	0,15	0,89	0,12
D	83–87	24,2	2,9	0,00220	0,00029	$1,16 \cdot 10^6$	$0,15 \cdot 10^6$	1,49	0,17	0,95	0,12
Разрез Р-42. Светлозем мелкоторфянистый потечно-гумусовый глееватый											
ELhi,g	18–20	23,3	2,8	0,00221	0,00029	$1,09 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^6$	1,58	0,18	0,92	0,12
ELg,hi	20–30	22,7	2,7	0,00327	0,00043	$1,59 \cdot 10^6$	$0,20 \cdot 10^6$	2,40	0,28	1,63	0,21
Bcrm	30–40	22,1	2,7	0,00220	0,00029	$1,38 \cdot 10^6$	$0,18 \cdot 10^6$	1,95	0,23	1,45	0,19
CRM	50–60	24,9	3,0	0,00221	0,00029	$1,22 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	1,49	0,17	1,14	0,15
BC	60–70	25,5	3,1	0,00328	0,00043	$9,69 \cdot 10^5$	$1,24 \cdot 10^5$	1,23	0,14	0,78	0,10
C	70–80	25,3	3,0	0,00220	0,00029	$1,50 \cdot 10^6$	$0,19 \cdot 10^6$	1,41	0,16	0,99	0,13
C	80–100	15,7	1,9	0,00328	0,00043	$1,18 \cdot 10^6$	$0,15 \cdot 10^6$	1,23	0,14	0,70	0,09
Разрез Р-71. Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый											
ELhi,g	(20–25)	33,7	4,0	0,00328	0,00043	$1,58 \cdot 10^6$	$0,20 \cdot 10^6$	0,76	0,09	0,45	0,06
ELg,hi	(25–30)	25,6	3,1	0,00220	0,00029	$1,33 \cdot 10^6$	$0,17 \cdot 10^6$	1,64	0,19	1,02	0,13
Bcrm	30–40	23,5	2,8	0,00328	0,00043	$1,19 \cdot 10^6$	$0,15 \cdot 10^6$	8,55	1,00	6,72	0,87
Bcrm	40–50	26,9	3,2	0,00149	0,00020	$1,02 \cdot 10^6$	$0,13 \cdot 10^6$	1,12	0,13	0,72	0,09
CRM1	50–60	26,8	3,2	0,00149	0,00020	$1,35 \cdot 10^6$	$0,17 \cdot 10^6$	1,62	0,19	1,05	0,14
CRM2	60–70	27,6	3,3	0,00221	0,00029	$1,28 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	1,26	0,15	0,80	0,10
CRM3	70–82	29,0	3,5	0,00328	0,00043	$1,14 \cdot 10^6$	$0,15 \cdot 10^6$	1,33	0,16	0,76	0,10

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE-range, %		Модуль упругости G', Pa		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
BCg	82–100	31,0	3,7	0,00328	0,00043	$8,42 \cdot 10^5$	$1,08 \cdot 10^5$	1,74	0,20	1,02	0,13
BCg	100–110	31,1	3,7	0,00328	0,00043	$8,62 \cdot 10^5$	$1,10 \cdot 10^5$	1,84	0,22	1,04	0,14
Cg	110–120	28,8	3,5	0,00149	0,00020	$1,05 \cdot 10^6$	$0,13 \cdot 10^6$	1,54	0,18	0,91	0,12

Таблица 5 – Реологические свойства автоморфных и полугидроморфных почв лесотундры (Участок КУ-V)

Горизонт	Глубина, см	Влажность максимального набухания, %		Предел упругой деформации LVE- range, %		Модуль упругости G', Pa		Предел пластичной деформации CROSSOVER, %		Integral Z*	
		ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ	ω	±Δ
Разрез Р-4-1. Светлозем иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый											
Eg,hi	5–10(15)	29,8	3,6	0,00149	0,00020	2,64·10 ⁶	0,30·10 ⁶	0,97	0,11	0,59	0,08
BF	10(15)– 14(27)	29,2	3,5	0,00151	0,00020	1,65·10 ⁶	0,21·10 ⁶	2,6	0,3	1,79	0,23
Bcrm	14(27)–45	28,6	3,4	0,00147	0,00019	1,85·10 ⁶	0,24·10 ⁶	2,44	0,28	1,58	0,21
CRM	45–80	27,4	3,3	0,00221	0,00029	1,28·10 ⁶	0,16·10 ⁶	2,8	0,3	1,88	0,24
BCg	80–110	27,2	3,3	0,00220	0,00029	1,44·10 ⁶	0,18·10 ⁶	3,7	0,4	2,59	0,34
Dg	110–140	19,2	2,3	0,00151	0,00020	1,25·10 ⁶	0,18·10 ⁶	1,74	0,20	1,20	0,16
Разрез Р-4-Х. Светлозем мелкторфянистый потечно-гумусовый глееватый											
ELhi,g	13–17	28,9	3,5	0,00328	0,0004	1,08·10 ⁶	0,14·10 ⁶	1,95	0,23	1,10	0,14
ELhi,g	17–25	21,1	2,5	0,00150	0,00020	1,26·10 ⁶	0,16·10 ⁶	6,04	0,71	4,50	0,59
Bcrm,g	25–41	23,1	2,8	0,00221	0,00029	1,38·10 ⁶	0,18·10 ⁶	1,35	0,16	1,02	0,13
CRMg	41–70	24,0	2,9	0,00220	0,00029	2,10·10 ⁶	0,27·10 ⁶	1,16	0,14	0,93	0,12

BCg	70–90	22,9	2,7	0,00220	0,00029	$2,16 \cdot 10^6$	$0,28 \cdot 10^6$	1,11	0,13	0,73	0,09
Разрез Р-4-2. Светлозем торфянистый потечно-гумусовый глеевый											
ELhi,g	25–29	25,3	3	0,0015	0,0002	$1,23 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	3,06	0,36	2,24	0,29
Bcrm,g	29–40	22,4	3	0,0022	0,0003	$1,26 \cdot 10^6$	$0,20 \cdot 10^6$	6,35	0,74	4,44	0,58
CRMg	40–65	28,8	3	0,0033	0,00043	$1,55 \cdot 10^6$	$0,20 \cdot 10^6$	1,85	0,22	1,13	0,15
Dg	65–80	28,8	3	0,0015	0,00020	$1,71 \cdot 10^6$	$0,22 \cdot 10^6$	1,72	0,20	1,09	0,14