

На правах рукописи



Бахмет Ольга Николаевна

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ОРГАНОПРОФИЛЕЙ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ
СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ**

03.02.08 – экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Петрозаводск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте леса Карельского научного центра Российской академии наук

Научный консультант – доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор **Шоба Сергей Алексеевич**

Официальные оппоненты:

Розенберг Геннадий Самуилович, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии Волжского бассейна РАН, директор

Рожков Вячеслав Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, профессор, Государственное научное учреждение Почвенный институт им. В.В. Докучаева Российской академии сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

Кашулина Галина Михайловна, доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, заведующая лабораторией почвоведения

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН)

Защита состоится «22» апреля 2015 года в 11.00 на заседании диссертационного совета Д 212.190.01 при Петрозаводском государственном университете по адресу: 185910, Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33, эколого-биологический факультет, ауд. 117 теоретического корпуса. Телефон/факс: +7(8142)76-38-64; e-mail: dissovet@petsu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Петрозаводского государственного университета <http://www.petsu.ru/Structure/dis.html>, с авторефератом – на сайтах ВАК и университета <http://vak2.ed.gov.ru/catalogue/index> и www.petsu.ru.

Автореферат разослан: «__» _____ 2015 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук

И.М. Дзюбук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования. Органическое вещество почв является важнейшим компонентом наземных экосистем и биосферы в целом. Абсолютное большинство экологических функций почвы связано с ее органической составляющей: аккумуляция и трансформация вещества и энергии, биохимические превращения и сорбция веществ, буферная и санитарная функции и др. (Розанов, 1984; Добровольский, Никитин, 1990; Карпачевский, 1993; Attiwill, Leeper, 1987; Van Cleve, Powers, 1995 и др.). Органическое вещество почв является наиболее информативной частью лесных почв в отражении современных условий почвообразования (Ковалева, 2002; Добровольский, Ковалева, 2010 и др.). Поэтому строение органофиля и качественные характеристики органического вещества имеют большое значение при диагностике почв, однако зачастую важные особенности органофиля мало используются в почвенной классификации.

Существующие в настоящее время классификации морфологического строения органического вещества почв, как российские (Чертов, 1974, 1981; Черкинский, Чичагова, 1991; Миньковский, 1992 и др.), так и зарубежные (разработанные в Германии, Франции, Канаде) нуждаются в доработке и уточнении, поскольку не отражают всего разнообразия органофилов, особенно в северных регионах. Разработанные европейской группой исследователей в 2000-х гг. (Broll et al., 2006; Zanella et al., 2009, 2011) подходы к выделению форм гумуса не учитывают органическое вещество в большей части минеральной толщи почв, а также специфику формирования органофилов в лесных почвах таежной зоны.

В настоящее время недостаточно выяснена экологическая приуроченность типов органофилов почв к биогеоценозам северных регионов. Крайне мало информации о разнообразии органофилов в природных системах различного уровня: ландшафтах, ландшафтных районах и подзонах.

Влияние отдельных природных и антропогенных факторов на формирование органического вещества почв показано в ряде работ (Владыченский и др., 2012; Замолотчиков и др., 2005; Курганова и др., 2012; Мильхеев, Багун, 2012; Орлова и др., 2012; Beniamino et al., 1991; Gillet and Ponge, 2002; Muys et al., 1992; Ponge and Delhayе, 1995; Sadaka and Ponge, 2003; Vitousek et al., 1994). Однако практически отсутствуют комплексные работы по выявлению основных природных и антропогенных факторов, определяющих формирование различных типов органофилов почв.

Органическое вещество почвы является центральным звеном в биогеохимических циклах (Орлов, 1990; Тейт, 1991; Добровольский, 2004; Кудеяров и др., 2007; Waring, Schlesinger, 1985), и формирующиеся органофили отражают скорость циркулирования химических элементов в экосистемах. Таким образом, изучение количественных и качественных характеристик органического вещества почвы дает более глубокое представление о функционировании экосистем.

Кроме того, для уточнения существующих оценок глобального цикла углерода (Орлов и др., 1996; Рожков и др., 1997; Исаев, Коровин, 1999; Кудеяров и др., 2007; Adams, 2002 и др.) необходимо получение максимально полной информации о величине пулов углерода в почвах различного генезиса.

Все сказанное свидетельствует о необходимости определения размеров поступления органического вещества в почву, условий его преобразования, изучения морфологического строения органофилия для оценки роли органической составляющей почвы в различных природных системах.

Цели и задачи исследования. Цель настоящей работы состояла в установлении закономерностей формирования органофилий почв лесных биогеоценозов в ландшафтах Северо-Запада России (на примере Карелии).

Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. оценить существующее разнообразие органофилий почв и провести их классификацию;
2. выявить факторы, определяющие формирование органофилий почв;
3. изучить особенности морфологического строения органофилий почв и биохимического состава органического вещества;
4. оценить запасы органического вещества почв в различных биогеоценозах и ландшафтах;
5. выявить разнообразие органофилий почв на разных уровнях пространственной структуры экосистем;
6. установить географические особенности распространения органофилий почв в таежной зоне Северо-Запада России;
7. исследовать изменения органофилий почв в связи с антропогенным воздействием (рубки древостоя, загрязнение аэрополлютантами).

Научная новизна. В данной работе впервые обобщены материалы о разнообразии органофилий почв северо- и среднетаежной позон Северо-Запада России, дан сравнительный анализ закономерностей накопления и трансформации органического вещества в лесных почвах. На основе количественных и качественных показателей органического вещества разработана методологическая основа и проведена классификация органофилий лесных почв.

Установлены особенности воздействия ведущих факторов почвообразования (климатические показатели, характер и состав почвообразующей породы, коренная лесообразующая порода и состав напочвенного покрова) на формирование различных типов и подтипов органофилий лесных почв.

Показано, что в зональном и экологическом аспектах органофиль лесных почв характеризуется определенным морфологическим строением и биохимическими показателями. Выявлены оптимальные экологические условия деструкции органического вещества и обогащения почвы гумусом.

Впервые созданы средне- и крупномасштабные карты запасов органического вещества в лесных подстилках и метровой почвенной толще, позволившие выявить особенности географического распространения различных типов органофильных почв на территории Карелии.

Впервые выявлена приуроченность типов органофильных почв к различным уровням ландшафтной структуры: типам биогеоценозов, ландшафтов, ландшафтными районами и ландшафтными подзонами.

Установлено, что под воздействием лесохозяйственных мероприятий (сплошные рубки) органофильная лесных почв претерпевает существенные изменения, для восстановления основных параметров которого требуется не менее 40 лет.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты работы расширяют представление об органическом веществе почв северо-запада таежной зоны России, особенностях его морфологического строения и биохимических свойств, о влиянии природных и антропогенных факторов на его формирование.

Полученные результаты могут быть использованы в диагностических и прогностических целях и найти широкое применение при решении многих практических задач. Так, выделенные типы органофильных почв позволяют уточнить диагностику и классификацию лесных почв, а также выявить их связь с разнообразием экологических условий.

Рассчитанные запасы органического вещества в почвах Карелии, а также подготовленные средне- и крупномасштабные карты запасов и качественного состава органического вещества в почвах региона необходимы для экологического обоснования стратегии рационального природопользования.

Проведенная оценка влияния сплошной рубки древостоев на морфологические и биохимические параметры органофильных почв позволяет прогнозировать тренды восстановления биогеоценозов после антропогенного воздействия.

Положения, выносимые на защиту:

1. Морфоструктурная и функциональная организация органофильной почвы отражает влияние биотических и абиотических компонентов лесных экосистем, что позволяет считать его интегральным показателем природных условий.
2. В различных природных системах на формирование органофильной лесных почв основное влияние оказывают следующие факторы: в пределах биогеоценоза – состав растительности напочвенного покрова и характер почвообразующей породы; на уровне ландшафта – лесобразующая древесная порода и уровень грунтовых вод; в ландшафтной подзоне – климатические характеристики территории.
3. Для оценки характера функционирования лесных экосистем наиболее значимы различные характеристики органофильных почв: на уровне биогеоценоза

наибольшее значение имеют мощность органопрофиля в целом, мощность подгоризонтов органогенного горизонта и отношение содержания углерода к валовому содержанию азота в них, на уровне ландшафта – соотношение площадей, занимаемых почвами с автоморфными, полугидроморфными и гидроморфными типами органопрофилей и запасами органического вещества в них, в пределах ландшафтной подзоны – величина запасов органического вещества и наличие или отсутствие органопрофилей почв с высокой степенью его трансформации.

4. Величина запасов органического вещества лесных почв территории определяется ее заболоченностью, характером почвообразующих пород, видовым составом древостоев. Провести точную оценку запасов почвенного углерода территории позволяет метод, основанный на расчетах запасов органического вещества в почвах различного генезиса и сведениях об их площадном распространении в ландшафтах.

Степень достоверности, апробация работы. Достоверность полученных результатов подтверждается публикациями в ведущих рецензируемых изданиях, представлением их на многочисленных международных и российских научных конференциях. Основные из них: 17-й Всемирный конгресс почвоведов (Таиланд, 2002), Европейский конгресс почвоведов (Фрайбург, Германия, 2004), III съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Суздаль, 2000), IV съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Новосибирск, 2004), VI съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Петрозаводск, 2012), всероссийская с международным участием конференция по лесному почвоведению (Апатиты, 2011), международные конференции по лесному почвоведению (Петрозаводск, 2006, 2009), международная конференция по криопедологии (Копенгаген, Дания, 2001), международной конференции по микроморфологии почв (Гент, Бельгия, 2001), международная научно-практическая конференция по Зеленому поясу Фенноскандии (Петрозаводск, 2013), международная конференция «Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика» (Петрозаводск, 2006), международный симпозиум «Биоразнообразие бореальной природы и его сохранение». (Кухмо, Финляндия, 2000), международная конференция «Биологические основы изучения, освоения и охраны растительного и животного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии» (Петрозаводск, 1999) и др.

Личный вклад автора. Автором обоснована тема, определены цель и задачи, осуществлены полевые исследования и сбор материала, проведены все морфологические исследования, выполнены лабораторные определения химических свойств почв, сформулированы защищаемые положения и выводы.

Публикации. Результаты исследований отражены в 44 публикациях, в том числе в 1 монографии, 8 коллективных монографиях, в 13 статьях журналов из списка

ВАК, а также в научных статьях в сборниках, материалах и тезисах докладов международных и всероссийских конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав с подразделениями, заключения, списка литературы, содержит 77 таблиц, 74 рисунка, приложение. Список литературы включает 490 источников, в том числе 283 зарубежных. Общий объем работы – 361 страница.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему учителю член-корр. РАН С.А. Шобе за постоянное внимание к работе и поддержку, а также д.с.-х.н. Н.Г. Федорец за научные консультации и обсуждение работы. Автор благодарит всех сотрудников лаборатории лесного почвоведения Института леса КарНЦ РАН за поддержку и практическую помощь.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Определение и классификация органопротилей почв в лесных экосистемах.

1.1. Развитие представлений об органопротилях почв. В исследовании органического вещества почв существует два основных направления: биохимическое (Кононова, 1963; Александрова, 1980; Аристовская, 1980; Орлов, 1974, Дергачева, 1987; Лодыгин и др., 2007; Перминова, 2000; Фокин и др., 1993; Чуков, 1998; Bayer et al., 2006; Felbeck, 1971; Flaig, 1971; Kawahigashi et al., 2005; Kogel-Knabner, 1997; Stevenson, 1982; Swift et al., 1979 и др.) и морфолого-экологическое (Kubierna, 1953, 1955; Babel, 1975; Bal, 1973; Чертов, 1974; Гришина, 1986; Varitz, 2003; Zanella, 2009 и др.). Работы в области изучения химической природы гумусовых веществ преобладают, исследований морфологических особенностей органического вещества в связи с экологическими условиями формирования почв значительно меньше.

Понятие «органопрофиль» было введено Л.А. Гришиной, которой она охарактеризовала как «закономерное сочетание и распределение по генетическому профилю почв различных форм органического вещества» (Гришина, 1986, с. 147). Ряд исследователей описывали гумусовый профиль почв как результат функциональной связи первичных продуцентов и деструкторов органического вещества (Bernier, Ponge, 1994). М.И. Дергачева дала следующее определение гумусового профиля почв – «последовательный ряд генетически и химически сопряженных однородных зон (слоев) почвы, каждая из которых характеризуется определенным, свойственным только этой зоне сочетанием и интенсивностью элементарных гумусообразовательных процессов» (Дергачева, 1987, с. 9). В целом концепция строения органопротила базируется на вертикальной системе стадий разложения органического вещества почв с различными соотношениями и уровнями связи между ним и минеральной матрицей (Swift et al., 1979; Kögel-Knabner, 1992).

В большинстве зарубежных исследований органического вещества почв используется понятие «форма гумуса» (введенное Müller), которое описывает верхнюю часть почвенного профиля (горизонты L, F, H и в некоторых случаях A), содержащую основное количество органического вещества (AK Standortskartierung, 1996; Brethes et al., 1992, 1995; Jabiol et al., 1995 и др.). За последние 150 лет создано значительное количество классификационных систем форм гумуса (Müller, 1879, 1887; Ramann, 1911; Hesselman, 1926; Rommell, Heiberg, 1931; Kubierna, 1938, 1953, 1955; Ewald, 1956, 1958; Babel, 1965; Brewer, 1964; Barratt, 1964, 1969; Howard, 1969 и др.). В нашей стране также был создан ряд классификаций типов гумуса на основе морфологических исследований органического вещества (Чертов 1974, 1981; Ромашкевич, Герасимова 1982), однако, в них игнорировалось органическое вещество глубже горизонта A, хотя в ряде почв таежной зоны значительная часть органического вещества находится в средней части профиля, и даже в горизонтах, переходных к почвообразующей породе, можно обнаружить

достаточно высокое содержание углерода. Развивалось и представление об органопрофилях почв, создавались системы их классификации как на основе изучения морфологического строения, так и процессов трансформации органического вещества (Гришина, 1986; Шоба, 1988 Черкинский, Чичагова 1989, 1991; Миньковский, 1992 и др.). Однако, большинство из них не было проработано детально.

В используемых в настоящее время классификациях форм гумуса лесных почв: в Германии (АК Standortskartierung, 1996), Франции (Brethes et al., 1992, 1995; Jabiol et al., 1995), Канаде (Klinka et al., 1981; Green et al., 1993) возникают трудности с диагностикой степени разложенности, режима увлажнения и природой органического вещества (Lowe et al., 1987), в них также игнорируется органическое вещество глубже горизонта А. В национальных классификационных системах одни и те же обозначения форм гумуса часто имеют различный смысл, в связи с чем в 2003 году была организована Европейская Гумусовая Группа, объединяющая исследователей из разных стран с целью попытаться совместить национальные классификационные системы и сформулировать единую европейскую систему форм гумуса (Zanella et al., 2009). В настоящее время недостатком ее является недостаточная проработка форм гумуса северной Европы, основное внимание сосредоточено на почвах центральной и южной Европы. Для того, чтобы восполнить пробел классификации органического вещества почв в лесных экосистемах таежной зоны, необходимы полные морфологические описания различных органопрофилей. Сочетание морфологических данных со сведениями о химическом составе дадут возможность оценить соразмерность и взаимосвязь всех компонентов органического вещества в почве.

1.2. Классификация органопрофилей почв Карелии. Для разделения органопрофилей почв Карелии разработана их классификация на основе морфологических и ряда химических показателей (рис. 1). В основу системы положены классические понятия «мора», «модера» и «мулля». Органопрофили на высшем надтиповом уровне подразделяются на автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные.

Для выделения единиц на уровне типа за основу взята классификация форм гумуса О.Г. Чертова, которая доработана для подзон северо- и среднетаежной подзон и дополнена информацией об органическом веществе, находящимся глубже горизонта А. Типы органопрофилей выделяются по ряду морфологических (наличие или отсутствие подгоризонтов органогенного горизонта и органо-минерального горизонта А, степени трансформации органического материала, обилию почвенной фауны) и химических характеристик (кислотность, содержание углерода и отношение C/N в верхней части профиля, тип гумуса). В полугидроморфных условиях влажные и оторфованные типы различаются мощностью органогенного горизонта на поверхности почвы (10–15 и 15–25 см, соответственно). В гидроморфных условиях типы органопрофилей разделяются по степени трансформации органического материала.



Рисунок 1. Классификация органопроефилей почв северо- и среднетаежной подзоны Карелии.

Органопродилы почв подразделяется на подтипы в зависимости от распределения органического вещества в почвенной толще и количества органического вещества в нем. Так в грубогумусном типе выделен маломощный органопродиль, который отличается маломощной лесной подстилкой, резким убыванием количества органического вещества в минеральной части почвы и невысокими его запасами в почве в целом. Мономодальный подтип характеризуется постепенным убыванием органического вещества по почвенному профилю и в целом также его невысокими запасами. В органопродильях бимодального подтипа отмечаются два максимума количества органического вещества – на поверхности почвы (лесная подстилка) и в ее минеральной части, т.е. распределение по почвенному профилю носит элювиально-иллювиальный характер. В типичном грубогумусном органопродилье наблюдается, как правило, бимодальное распределение органического вещества в почве. Переходный подтип между грубогумусным и модергумусным типами включает черты как того, так и другого. В гидроморфных условиях подтипы органопродильей почв выделяются по мощности органической толщи.

В работе приведены результаты типизации органопродильей, соответствующих почвам северо- и среднетаежной подзон Карелии согласно разработанной классификации.

Глава 2. Объекты и методы.

Значительная часть результатов исследования структурно-функциональной организации органопродильей почв получена путем проведения маршрутных исследований по всей территории Карелии в период 1993–2010 гг., детальное изучение морфологического строения органопродильей почв, особенностей их биохимического состава проводили на стационарных объектах, расположенных в северо- и среднетаежной подзонах региона (табл. 1). В работе использована региональная классификация почв, разработанная Р.М. Морозовой (1991).

2.1. Почвы ландшафтов Карелии (маршрутные исследования). На территории региона, где проводились исследования, проходит граница двух крупнейших физико-географических стран европейского континента – Фенноскандии и Русской равнины, поэтому в Карелии наблюдается большинство типов ландшафта северо- и среднетаежной подзон европейской части России (Громцев, 2000). Разработанная классификация ландшафтов (Волков и др., 1985; Громцев, 1993; Биоресурсный потенциал..., 2005) позволяет использовать материалы по структуре и особенностям природных систем региона при исследовании почв.

Комплексные экспедиции проходили в различных типах ландшафтов, что позволило получить обширный материал по особенностям почв и почвенного покрова природных экосистем Карелии. Полевые работы были сосредоточены главным образом на ландшафтных профилях, которые закладывались с детальной нивелирной съемкой в наиболее типичных участках ландшафтных контуров.

Таблица 1. Объекты исследований.

Место проведения исследований	Почвообразующая порода		Подзона тайги		Древостой			Антропогенное воздействие	
	четвертичные отложения	коренные породы	северная	средняя	сосновые	еловые	лиственные	рубки леса	загрязнение почв
Маршрутные исследования ландшафтов	+	+	+	+	+	+	+		
Программа ICP-Forests	+	+	+	+	+	+	+		
Стационар «Кончезеро»	+			+	+				
Заповедник «Кивач»	+			+	+	+	+		
Заповедник «Костомукшский»	+		+		+	+			
Серия пробных площадей № 1		+		+	+				
Серия пробных площадей № 2		+	+		+	+			
Серия пробных площадей № 3	+			+	+			+	
Серия пробных площадей № 4	+		+		+				+

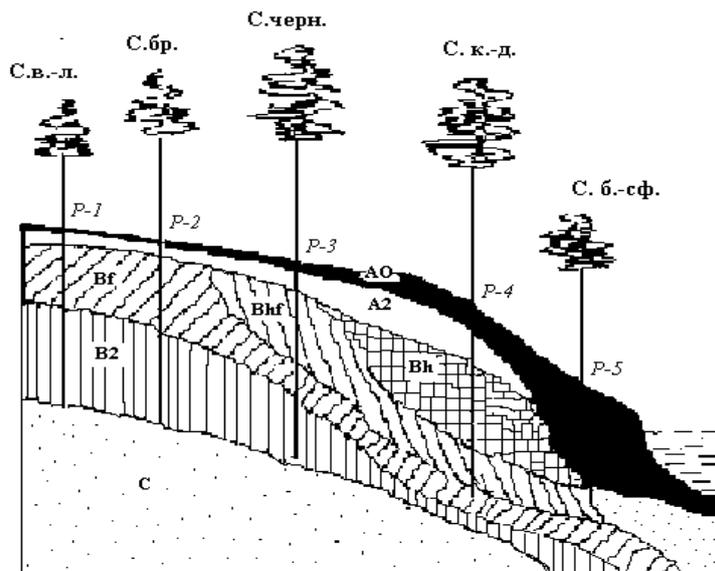
Автор участвовала в описании почв 19 ландшафтных профилей общей протяженностью около 93 км, с целью изучения которых было заложено более 200 разрезов и 1200 прикопок. Описание почв проводили в пределах бигеоценозов, затем данные систематизировались в целом для исследуемого ландшафта. По результатам полевых маршрутных исследований уточнялись как контуры самих ландшафтов, так и составлялись крупномасштабные почвенные карты с описанием почвенного покрова территорий.

Органопродулы почв детально описывались на уровне бигеоценозов, определялись особенности их морфологического строения. Отбирались образцы как лесных подстилок, так и минеральных горизонтов почв для проведения биохимического анализа, а также расчета запасов органического вещества. Затем данные систематизировались в целом для исследуемого ландшафта. Полученные обширные материалы по различным ландшафтам позволили аппроксимировать данные на более крупном таксономическом уровне – ландшафтного района и ландшафтной подзоны.

2.2. Почвы мониторинговой сети пробных площадей международной программы ICP-Forests. Для получения дополнительных данных по органическому веществу почв региона была использована сеть пробных площадей международной программы «ICP-Forests», заложенных по равномерной сети 32 x 32 км путем проекции на географические координаты (n=100). Они располагались в сосновых, еловых и лиственных древостоях на различных почвообразующих породах (как четвертичных, так и коренных), в разных климатических подзонах региона (северной и средней тайге). Выполненные детальные морфологические описания органопродулы, данные по запасам органического вещества в лесных подстилках, в минеральных горизонтах почв и, соответственно, в почвах в целом, а также материалы по химическому и биохимическому составу почв представляют собой большой объем данных по органическому веществу таежной зоны Северо-Запада России.

2.3. Почвы стационаров. Для детального изучения морфологических и биохимических особенностей органопродулы почв на четвертичных отложениях исследования проводили на сериях пробных площадей в северотаежной подзоне на территории государственного природного заповедника «Костомукшский», в среднетаежной – лесобиологического стационара «Кончезеро» и заповедника «Кивач». Пробные площади заложены в различных бигеоценозах: сосновых, еловых и мелколиственных. Сосновые и еловые представляли собой катены, различающиеся по уровню увлажнения (рис. 2).

В изучаемых почвах определяли компонентный и зольный состав лесных подстилок, биохимический состав органического вещества, его запасы в отдельных горизонтах и почвах в целом, выделяли препараты гумусовых кислот, изучали их элементный состав, а также количество карбоксильных и фенольных групп. Исследования состава, численности и биомассы почвенной фауны проводили совместно с Л.Б. Рыбаловым, микробиоценозов почв с М.В. Медведевой.



С.в.-л. – сосняк вересково-лишайниковый, С.бр. – сосняк брусничный, С. черн. – сосняк черничный, С.к.-д. – сосняк кустарничково-долгомошный, С.б.-сф. – сосняк багульниково-сфагновый

Рисунок 2. Расположение пробных площадей на стационаре «Кончезеро».

2.4. Почвы серии пробных площадей на коренных горных породах. Изучение органического вещества почв, сформировавшихся на коренных породах (от кислых до ультраосновных по химическому составу), проводили на сериях пробных площадей в среднетаежной и северотаежной подзонах. Для того, чтобы вычлнить влияние литологического фактора в почвообразовании сформировавшихся почв, пробные площади подбирались в насаждениях одного породного состава – сосняках. В почвах пробных площадей исследовали валовой химический состав, содержание подвижных соединений железа и алюминия, морфологическое строение органопродилей, групповой и фракционный состав органического вещества в различных генетических горизонтах почв, а также его запасы.

2.5. Почвы антропогенно нарушенных территорий. Для изучения антропогенного воздействия на формирование органопродилей почв были заложены две серии пробных площадей. Одна из них в среднетаежной подзоне Карелии с целью исследования влияния сплошных рубок древостоев на трансформацию органического вещества почв проводились. Контрольная пробная площадь представляла собой свежую сплошную вырубку после рубки сосновых древостоев. Остальные три – вырубки с посадками сосны, соответственно 7, 15 и 40 лет. Изучение органопродилей почв включало определение детального морфологического строения, биохимического состава органического вещества подстилок и минеральной толщи, группового и фракционного состава гумуса, элементного состава гумусовых кислот, запасов органического вещества. Кроме того, изучался состав почвенной фауны (совместно с Л. Рыбаловым) и микробоценоза почвенных горизонтов (совместно с М.В. Медведевой).

Изучение влияния промышленного загрязнения на состав органического вещества почв проводили на второй серии пробных площадей, заложенных в северотаежной подзоне в районе Костомукшского горно-обогатительного комбината. Пробные площади располагались по градиенту на различном удалении

от комбината от 5 до 27 км по направлению господствующих ветров северо-восток – юго-запад. На каждой пробной площади изучали особенности морфологического (микроморфологического) строения органопробилей почв, биохимический состав органического вещества, проводили микробиологические исследования, исследовали в модельных опытах *in situ* проводили скорость деструкции опада хвои сосны.

2.6. Методы исследований. В основу проведенных исследований разнообразия природных местообитаний и экологических условий, типов строения почв и их органопробилей были положены сравнительно-географические и сравнительно-аналитические методы.

Описание ландшафтов (в маршрутных исследованиях) выполнялось маршрутным методом под руководством д.с.-х.н. А.Н. Громцева коллективом исследователей различного профиля (лесоводами, ботаниками, геологами, болотоведами и др.) Института леса, Института биологии, Института геологии и Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

Исследования по международной программе ICP–Forests в России проводились под руководством д.б.н. Н.В. Лукиной, в Карелии – д.с.-х.н. Н.Г. Федорец. Описания почв пробных площадей выполнены сотрудниками лаборатории лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН, древостоев – сотрудниками Центра защиты леса Ленинградской области.

Пробные площади Кончезерского лесобиологического стационара, заповедников «Кивач» и «Костомукшский», серий № 1 и 3 подбирались совместно с лесоводами Института леса КарНЦ РАН в соответствии с методиками, применяемыми в лесоводственных исследованиях. Таксационная характеристика древостоев, описание напочвенного покрова выполнено сотрудниками лаборатории ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем и лесоведения и лесоводства Института леса КарНЦ РАН: к.б.н. Ю.В. Преснухиным, к.б.н. В.В. Тимофеевой, к.б.н. О.А. Рудковской.

Серии пробных площадей № 2 и 4 подбирались совместно с исследователями Лесного института Финляндии.

Для изучения почв и их пространственного распределения использовались метод катен и метод ключей. Закладка почвенных разрезов, описание морфологии, мезо- и микроморфологии почв, определение химических, физико-химических и физических свойств почв проводились по стандартным методикам.

Во всех почвах определен валовой химический состав по Е.В. Аринушкиной (1975), агрохимические показатели по общепринятым методикам (Агрохимические методы..., 1975). Содержание общего углерода и азота определяли с помощью СНН-анализатора. В большинстве почв выполнен анализ группового и фракционного состава органического вещества по методу В.В. Пономаревой, Т.А. Плотниковой (1980) со спектрофотометрическим окончанием.

Выделение препаратов гумусовых кислот проводилось по методу Д.С. Орлова (1974), элементного состава гуминовых и фульвокислот на СННС-анализаторе. В

подготовленных препаратах кислот определяли общее количество карбоксильных и фенольных групп по А.Ф. Драгуновой и количество карбоксильных групп по методу Т.А. Кухаренко, количество фенольных групп вычисляли по разнице между этими определениями.

Определение общего биохимического состава органического вещества проводили по методике Н.И. Ястрембовича и Ф.Л. Калинина (1962) в модификации Г.И. Софроновой с соавторами (1978). Содержание фенолов определяли с помощью спектрофотометрии ультрафиолетовой и видимой области спектра.

В работе использованы данные Л.Б. Рыбалова по численности и биомассе почвенной фауны пробных площадей в заповеднике «Кивач» и серии пробных площадей на вырубках в среднетаежной подзоне, а также материалы М.В. Медведевой по структурной организации микробоценозов почв, полученные при проведении совместных с автором исследований.

Для обобщенной характеристики органопробилей почв была использована система показателей, учитывающих профильное распределение органического вещества, его запасы, степень гумификации, фракционный состав гумусовых кислот и др. (Гришина, Орлов, 1978; Орлов и др., 2005). В нашей работе характеристика органопробилей изученных почв включала следующие показатели:

- морфологические (основные, т.е. использованные во всех исследованных почвах, – мощность подстилки, выраженность подгоризонтов подстилки, степень разложения растительных остатков; дополнительные, т.е. использованные выборочно, – характер экскрементов, характер гумусовой плазмы, присутствие органоминеральных соединений),
- химические (основные – содержание углерода и азота в горизонтах, дополнительные – фракционный состав органического вещества, содержание углерода в ГК и ФК, элементный состав гумусовых кислот, функциональные группы гумусовых кислот),
- расчетные (основные – запасы гумуса в слое 0–25 см, 0–50 см и 0–100 см, отношение запасов органического вещества в подстилке и в минеральном профиле, профильное распределение органического вещества в минеральной толще, обогащенность органического вещества азотом; дополнительные – степень гумификации органического вещества, тип гумуса, содержание «свободных» гуминовых кислот, содержание гуминовых кислот, связанных с Ca^{2+} , содержание прочно связанных ГК).

Достоверность основных положений работы основывается на многолетнем экспериментальном материале. Статистическую обработку материала данных проводили общепринятыми методами, использован пакет прикладных программ MS Excel и Statistica. Достоверность различий оценивали по t критерию Стьюдента, а также по непараметрическому U-критерию Вилкоксона-Манна-Уитни (Коросов, Горбач, 2007; Ивантер, Коросов, 2010). Для выявления зависимости между исследуемыми параметрами рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена. Корреляционную связь считали достоверной при уровне статистической

значимости $p < 0,05$. Компьютерные карты распространения органофильных почв региона и запасов органического вещества в них подготовлены с помощью программы MapInfo 6.0.

Глава 3. Влияние природных факторов на формирование органофильных таежных почв.

3.1. Физико-географические особенности региона исследования.

Представлены всесторонние природно-географические данные по региону исследований. Дана геологическая характеристика региона: типы коренных и четвертичных пород, их генезис, минералогический состав и области распространения. Описываются основные формы рельефа и их генезис. Дается подробная характеристика климата региона, описание основных видов растительности, в том числе основных лесобразующих пород. Приводится характеристика почвенного покрова Карелии, основных типов почв и особенностей их распространения.

3.2. Влияние природных факторов на формирование органофильных почв.

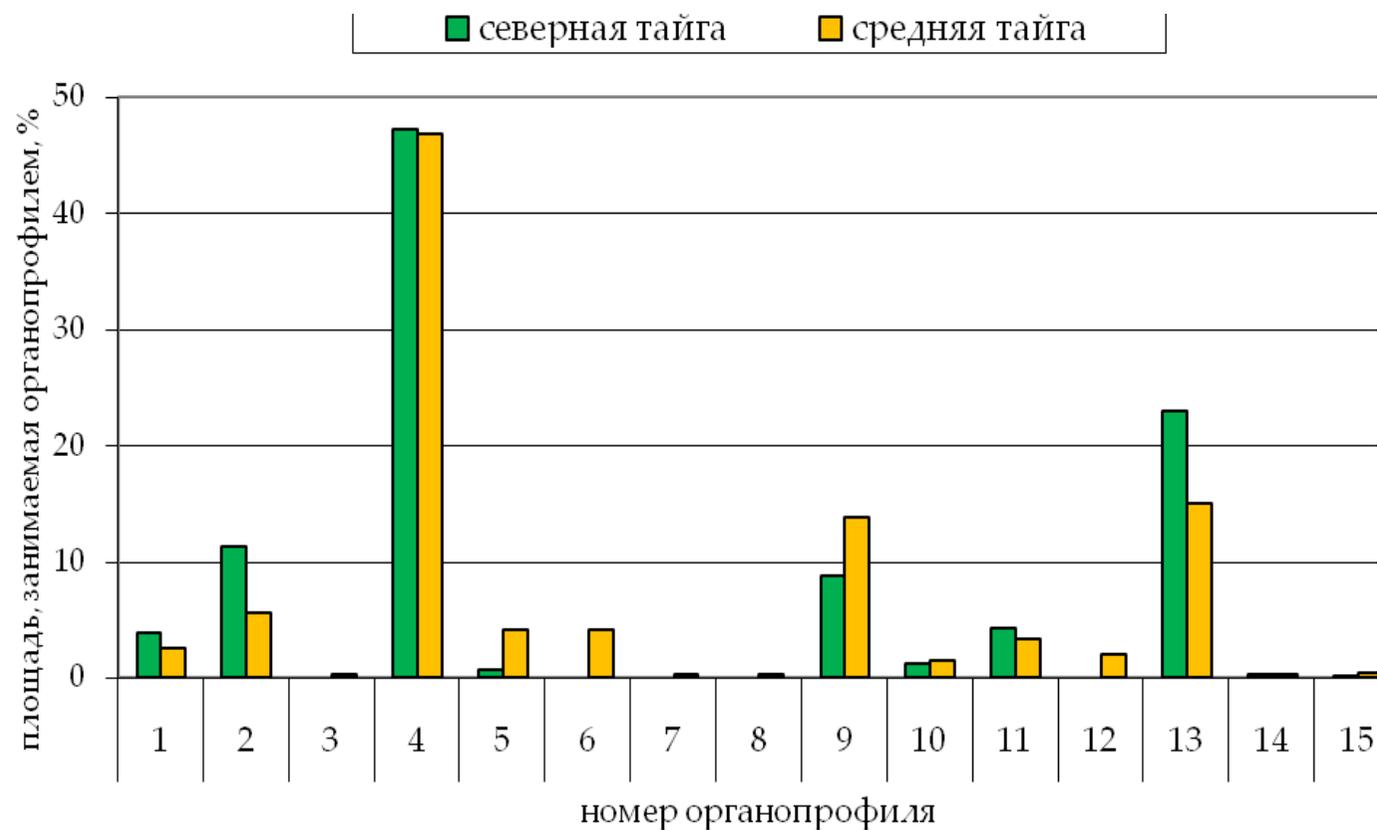
Различия в климатических условиях территории региона обусловили и разницу в формировании органофильных почв. В северотаежной и среднетаежной подзонах Карелии преобладает грубогумусный тип органофильной почвы, однако наблюдаются и некоторые различия (рис. 3) В средней тайге в группе автоморфных почв встречается модергумусный мономодальный органофильный профиль. На дренированных участках можно встретить кроме грубогумусного типичного и переходного органофильных почв, характерных для подзоны северной тайги, модергумусный бимодальный, модергумусный переходный и даже муллевый типы. На недостаточно дренированных участках в среднетаежной подзоне в почвах формируется модергумусный оторфованный органофильный профиль.

Анализ данных показал зависимость ряда параметров наиболее распространенного в регионе типа органофильных почв – грубогумусного бимодального от климатических характеристик (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции характеристик грубогумусного бимодального органофильного почв ($n=276$) и климатических показателей региона.

	Среднегодовая температура воздуха	Количество осадков
Мощность органофильного профиля в целом	0,19	0,47
Мощность лесной подстилки	0,51	0,43
Запасы органического вещества в профиле	0,57	0,68
pH в лесной подстилке	0,24	0,42
pH в подподстилочном горизонте	0,37	0,29

*выделены коэффициенты при $p < 0,05$



1 – грубогумусный маломощный, 2 – грубогумусный мономодальный, 3 – модергумусный мономодальный, 4 – грубогумусный бимодальный, 5 – грубогумусный переходный, 6 – модергумусный бимодальный, 7 – модергумусный переходный, 8 – муллевый мономодальный, 9 – грубогумусный влажный, 10 – модергумусный влажный, 11 – грубогумусный оторфованный, 12 – модергумусный оторфованный, 13 – торфяной, 14 – перегнойный оторфованный, 15 – перегнойный типичный.

Рисунок 3. Распространение различных типов органо профилей почв в подзонах северной и средней тайги Карелии.

Рыхлые отложения, на которых развивается почва, оказывают косвенное, но существенное влияние на формирование органофилия, так как они в значительной мере определяют условия увлажнения. Насыщенность почвенного профиля водой определяет автоморфное или гидроморфное развитие органофилий. В экстремально сухих условиях формируются грубогумусные маломощные и мономодальные, значительно реже модергумусные мономодальные органофилии. При увеличении увлажнения и хорошей дренированности складываются наиболее благоприятные условия для трансформации растительного опада, наблюдается широкий спектр органофилий – от грубогумусных до муллевых. С уменьшением дренированности почв и, соответственно, с нарастанием их гидроморфности, условия для переработки растительного материала ухудшаются. Органофиль таких почв представляет собой торфяную толщу с горизонтами различного ботанического состава и различной степени разложения. При подпитке богатыми минерализованными водами степень разложения органического материала может возрастать, что наблюдается в перегнойных органофилиях.

Влияние уровня грунтовых вод на характеристики грубогумусного бимодального органофилия показано в таблице 3. Уровень увлажнения в значительной степени определяет мощность органогенного горизонта и органофилия в целом, а также запасы органического вещества в нем.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции характеристик грубогумусного бимодального органофилия почв (n=221) и уровня грунтовых вод.

	Уровень грунтовых вод
Мощность органофилия в целом	0,64
Мощность лесной подстилки	-0,57
Запасы органического вещества в профиле	-0,53
pH в лесной подстилке	0,31
pH в подподстилочном горизонте	0,37

*выделены коэффициенты при $p < 0,05$

Различия в составе и мощности почвообразующих пород обусловили разницу в распространении органофилий почв в северной и южной частях региона. На севере преобладают песчаные и каменистые отложения, часто встречаются выходы коренных пород на дневную поверхность, а также олиготрофные болота.

Площадь сильно дренированных почв, в основном скальных местоположений, в северотаежной подзоне существенно выше – почти в 2 раза, соответственно значительно больше доля органофилий, формирующихся в слабодренированных условиях (23,3 % по сравнению с 15,6 % в южной части) (рис.

4). Таким образом, на севере органопрфили почв зачастую развиваются в экстремальных экологических условиях.

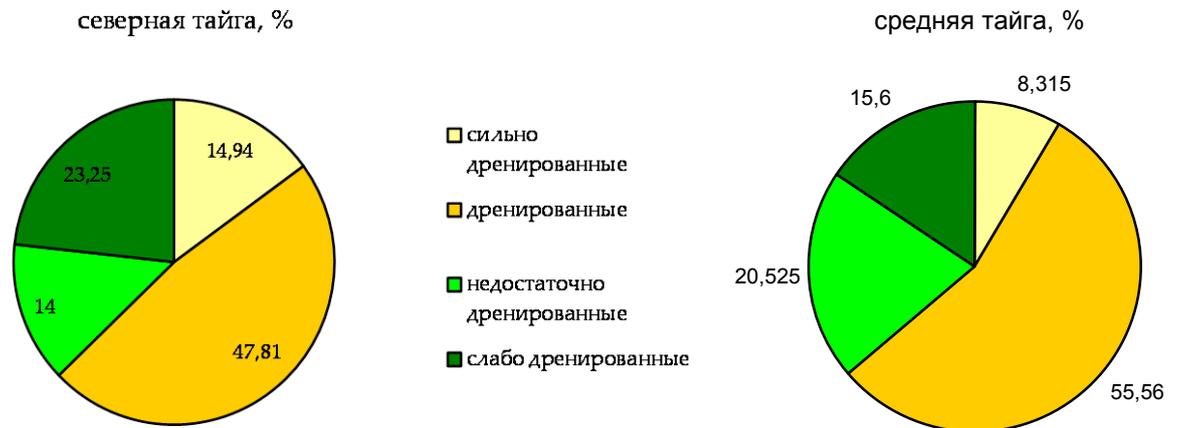


Рисунок 4. Площадь различных по степени дренированности почв в подзонах северной и средней тайги Карелии.

В южной части региона более распространены супесчаные и суглинистые четвертичные отложения, а также мезотрофные болота. Поэтому доли дренированных и недостаточно дренированных почв на покрытой лесом площади существенно выше (55,6 и 20,5 %, соответственно)

Проведенная оценка корреляции химического состава почвообразующей породы и ряда характеристик грубогумусного органопрфиля почв показала отсутствие четкой взаимосвязи между ними.

Влияние растительности на формирование органопрфилией почв очень существенно и многогранно. На характеристики формирующихся в сосновых лесах органопрфилией почв существенное влияние оказывает величина фитомассы растений напочвенного покрова, в значительно меньшей степени – фитомасса древостоя (табл. 4). Отмеченная тенденция в еловых лесах проявляется в несколько меньшей степени по сравнению с сосновыми.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции характеристик органопрфиля почв и фитомассы сосновых (n=54) и еловых (n=47) насаждений.

	Фитомасса древостоя	Фитомасса напочвенного покрова
Мощность органопрфиля в целом	0,25/0,27	0,72/0,54
Мощность лесной подстилки	0,52/0,45	0,75/0,59
Запасы органического вещества в профиле	0,47/0,33	0,60/0,46
pH в лесной подстилке	0,33/0,24	0,36/0,28
pH в подподстилочном горизонте	0,18/0,26	0,24/0,16

*выделены коэффициенты при $p < 0,05$

Проведенные исследования позволили под сосновыми лесами северной тайги типизировать 6 органопротилей из 15 встречающихся в целом в регионе, в средней тайге разнообразие несколько больше – выделено 9 типов. На автоморфных местоположениях появляются грубогумусный переходный и модергумусный бимодальный типы, на полугидроморфных – модергумусный оторфованный. Появление таких типов обусловлено более благоприятными природными условиями для трансформации органического вещества в почвах южной части Карелии. Однако в целом в северотаежной и среднетаежной подзонах под сосновыми лесами преобладает грубогумусный бимодальный органопротиль (почти 50 % от занимаемой площади), значительную долю составляет также торфянистый тип (более 20 %).

Под ельниками в северной тайге формируется 9 типов органопротилей, в средней тайге отмечено большее разнообразие органопротилей почв – 13. В группе автоморфных почв появляется модергумусный мономодальный, модергумусный бимодальный и переходный и даже муллевый. Это связано с тем, что в южной части региона проходит более глубокая трансформация органического материала. Как и под сосновыми лесами, под ельниками в основном встречается грубогумусный бимодальный органопротиль (около 50 % площади), на втором же месте располагается грубогумусный влажный тип (22–24 %).

Исследование зависимости формирования типа органопротилей почв от климатических характеристик, уровня грунтовых вод, состава почвообразующих пород и фитомассы растительности (древостоя и растений напочвенного покрова) показало, что в автоморфных условиях наблюдается зависимость между перечисленными факторами и типом органопротилей почв, в полугидроморфных и гидроморфных условиях основным фактором является уровень увлажнения.

Глава 4. Поступление органического вещества в лесные почвы Северо-Запада России и его трансформация.

4.1. Источники органического вещества почв. Основным источником органического вещества почвы являются растительные остатки, в первую очередь потому, что масса их во много раз превышает массу микроорганизмов и почвенной фауны. Анализ полученных разными методами (Исаев и др., 1993; Уткин и др., 2001; Замолодчиков и др., 2011; Мошников, 2011) данных по средним запасам углерода в фитомассе сосняков и ельников показал, что в целом расчеты близки, однако, материалы по сосредоточенным запасам углерода в фитомассе хвойных насаждений региона в целом значительно различаются. В фитомассе изученных сосновых насаждений запасы углерода значительно колеблются в зависимости от возраста и условий местопроизрастания, хотя относительные различия между подзонами не столь велики (15 %). В живом напочвенном покрове среднетаежных сосновых насаждений содержится от 18,2 до 27,5 кг 10^2 /га углерода, что составляет 1,6–6,3 % по отношению к его массе в древесном ярусе. Запасы углерода в

древесном ярусе изученных северотаежных сосняков составляют в зависимости от таксационных показателей 340–985 кг 10²/га. В живом напочвенном покрове содержится 25–36 кг 10²/га углерода, что составляет 3–10 % по отношению к массе углерода в древостое.

4.2. Роль почвенной биоты в трансформации растительного опада.

Трансформация растительных остатков, поступающих в почву, – сложный биохимический процесс. Он протекает при участии атмосферных осадков и ферментов самих растительных тканей, подвергающихся разложению, что обуславливает автолитический распад их компонентов (Аристовская, 1980). Однако, значительно большую роль в переработке и разложении опада играют микроорганизмы и почвенные животные (Большаков и др., 1998; Гиляров, 1970; Звягинцев, 1987; Курчева, 1971; Стриганова, 2003; Яковлев, 2000 и др). Доля их участия, а также их взаимоотношения зависят от химического состава растительных остатков и условий развития процесса. В целом почвенная фауна Карелии характеризуется невысоким таксономическим разнообразием и обилием (Козловская и др., 1978; Рыбалов, Камаев, 2011).

Во всех исследованных почвах под сосновыми насаждениями отмечался средний уровень обилия беспозвоночных и относительно низкий уровень их биомассы. Население лиственных насаждений отличалось более высокой численностью и биомассой беспозвоночных. Для почвенного населения изученных почв характерна систематическая однородность и относительная бедность на уровне семейств, родов и особенно видов. Большинство беспозвоночных относится к хищникам, и в меньшей степени к фитофагам. Во всех сообществах отмечалась крайняя бедность сапрофильного комплекса видов из числа мезофауны. Для всех изученных биотопов характерен типичный подзолисто-таежный тип вертикального распределения – концентрация большей части беспозвоночных в подстилочных горизонтах.

Исследования качественного и количественного состава микрофлоры почв, сформировавшихся на рыхлых четвертичных отложениях, показали, что численность бактерий и актиномицетов увеличивается при переходе от позиций с недостаточным увлажнением (лишайниковых и брусничных) к участкам с более благоприятными условиями (черничный тип леса). Почвы различаются по структуре микроценозов в основном на уровне прокариотного блока. Почвы сосновых насаждений отнесены к бедным и среднеобогатенным бактериями и актиномицетами и богатым микромицетами. В еловых и березовых насаждениях почвы характеризуются большим пулом микроорганизмов, в ельниках они относятся к среднеобогатенным и богатым микроорганизмами, в березняках – к богатым и очень богатым прокариотами и актиномицетами.

Микробные комплексы примитивных почв и подбуров, сформировавшихся на выходах коренных горных пород, представлены тремя таксонами: бактериями, микромицетами, актиномицетами, в основном, почвенные микроорганизмы были сосредоточены в лесной подстилке. В отличие от развитых подзолов в составе

микробиоты исследованных почв наблюдалось явное преобладание бактерий, второе место по численности занимали актиномицеты, участвующие в деструкции труднорастворимого органического материала. Численность микромицетов, в зональных подзолистых почвах довольно высокая, в изученных почвах была низкой. В целом, структура изученных микробоценозов примитивных почв и подбуров на коренных породах не является характерной для зональных лесных почв, она не устойчива и, вероятно, будет изменяться по мере развития почвообразования.

В почвах северотаежной подзоны структура микробоценозов отличается еще большей однотипностью трофического и таксономического состава. В их составе преобладают олиготрофная микрофлора и микроскопические грибы. В наиболее продуктивном сосняке черничном сохраняется тот же состав микробиоты, что и в средней тайге, однако наблюдается значительное (в несколько раз) снижение ее численности. Отмечается обедненность актиномицетами и целлюлозоразрушителями.

4.3. Морфолого-генетические особенности органопрофилей почв Карелии.

В верхних горизонтах почвы, куда поступает растительный опад, проходят биохимические процессы его разложения, что отражается на морфологии этой части почвенного профиля (Klinka et al., 1990). Почвенные горизонты представляют собой вертикальную систему стадий разложения с различным соотношением органического вещества (свежий опад, остатки растений, животных и микроорганизмов, гумус) и минерального материала (Swift et al., 1979; Kögel-Knabner, 1992). При изучении органопрофилей особый интерес вызывает их морфологическое строение в связи с экологическими условиями формирования почвы. Определение органопрофилей (в зарубежных исследованиях форм гумуса) является одним из наиболее важных в диагностике почв (Kubiena, 1953). Кроме того, они являются индикаторами условий местообитания и продуктивности древостоев (Lembcke and Dannroth, 1969; Kopp et al., 1982).

В исследованных органопрофилях грубогумусового типа отмечены следующие закономерности их формирования. Строение стратотипов в целом характерно для зональных почв, наблюдается стратификация лесных подстилок, в которой проявляется закономерность разложения опада. Однако, зачастую горизонт ОН имеет небольшую мощность, поэтому выделяется горизонт OF+ОН (рис. 5). Деление органогенного горизонта на подгоризонты происходит под воздействием автолитического разложения остатков, при участии грибной микрофлоры и беспозвоночных.

При рассмотрении органопрофилей почв в экологических рядах по увлажнению различия проявляются в соотношении компонентов гумуса в отдельных стратотипах. В благоприятных условиях по увлажнению усиливается доля почвенных животных в переработке органогенного субстрата, активнее проходит трансформация органического вещества в верхней части почвенного профиля и возрастает его иллювиирование в нижележащие горизонты.

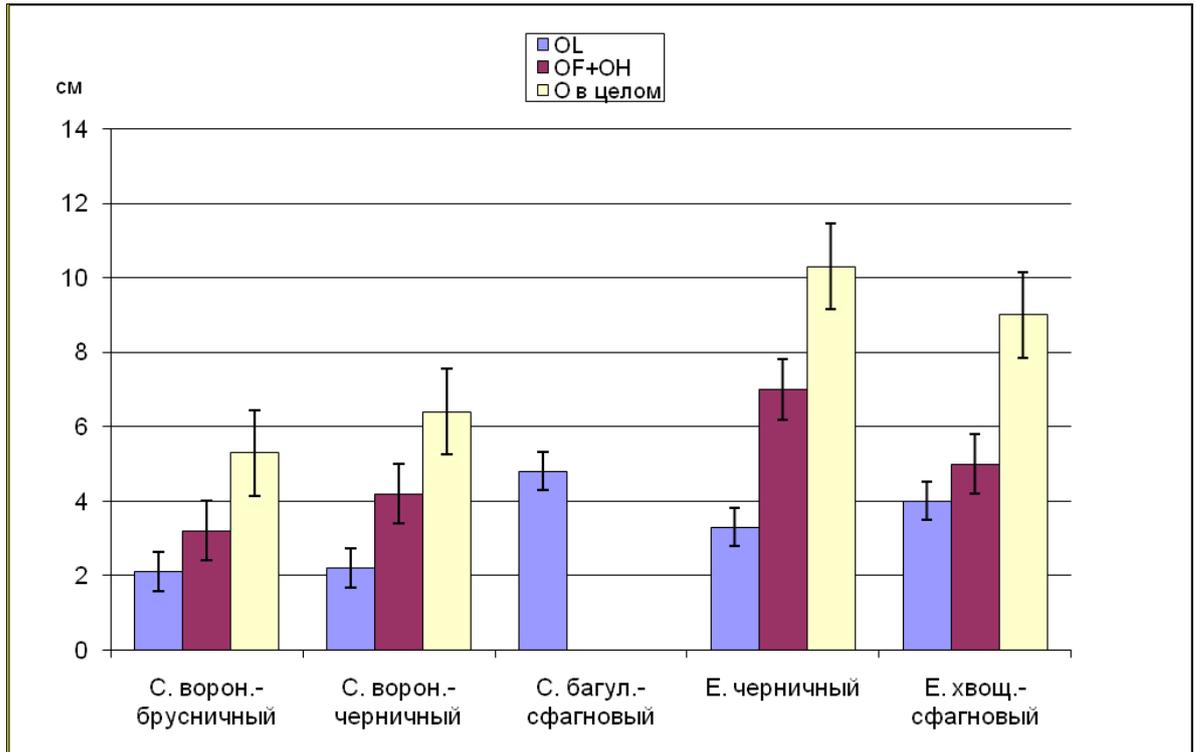


Рисунок 5. Мощность лесной подстилки почв северотаежной подзоны.

Для подзолов автоморфных позиций катены сосняков среднетаежной подзоны характерна грубогумусная мало- и среднемощная подстилка, при возрастании увлажнения для органофиля почв свойственны мощная оторфованная подстилка, прокрашенный потечным гумусом мощный подзолистый горизонт и иллювиально-гумусовый горизонт (рис. 6).

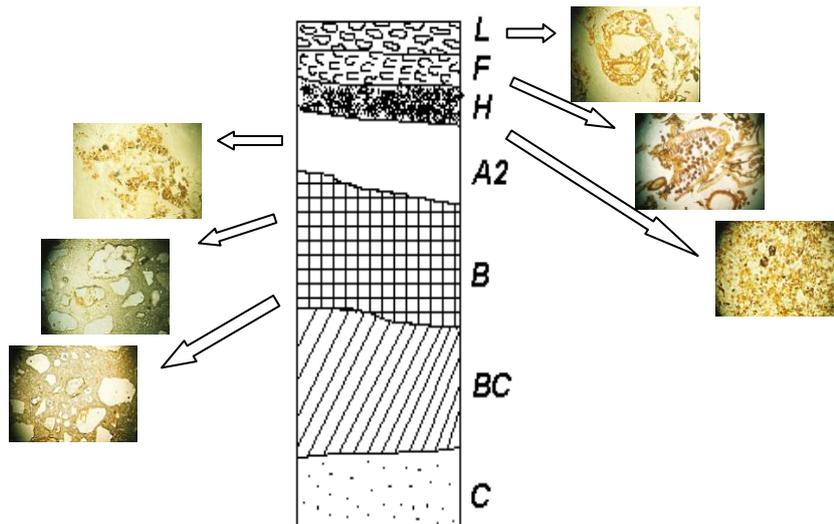


Рисунок 6. Особенности строения органофиля исследованных подзолов катены в сосняках среднетаежной подзоны.

С увеличением увлажнения в наибольшей степени изменяются строение и мощность органогенного подгоризонта ОН. В нижней части катены он мощный, отчетливо выражен, состоит из разложившихся, но менее измельченных остатков. Характерным признаком оторфовывания является извитость растительных остатков, а также локализация в комочки содержимого клеток растительных остатков.

Минеральные зерна иллювиальных горизонтов покрыты чехлом колломорфного материала, которое часто образует глобулярные сгустки, что связано с их преимущественно железистым составом. Для колломорфного гумуса выделенных органопрофилей характерна гелеобразность, связанная с малой зрелостью («конденсированностью») гумуса. В плазме органогенных и органо-минеральных горизонтов отмечается значительное количество частиц аморфного тонкодисперсного гумуса, что связано, по-видимому, с зимним промерзанием почв.

Органопрофили исследованных почв, сформировавшихся на различных коренных почвообразующих породах, имеют крайне небольшую мощность, основную часть их составляют лесные подстилки (рис. 7).

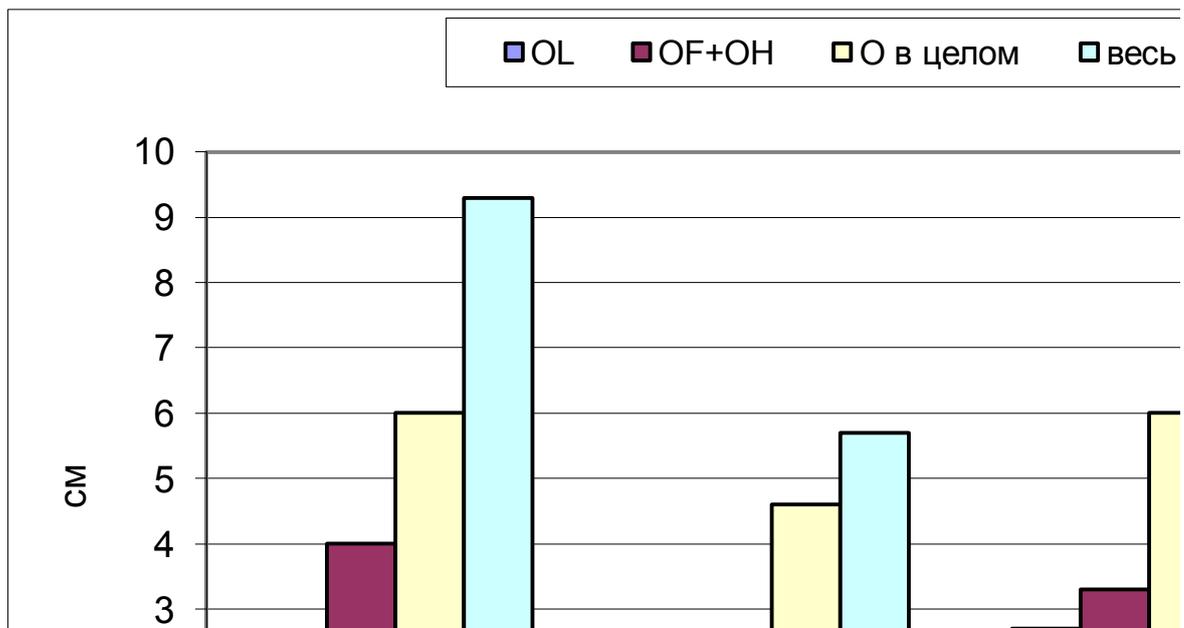


Рисунок 7. Мощность лесной подстилки и органопрофиля почв, сформировавшихся на коренных породах.

Мощность лесной подстилки в почвах, сформировавшихся на коренных породах, практически не отличается от таковой в рассмотренных выше почвах на рыхлых четвертичных отложениях. Однако, доля ее во всей мощности органопрофиля совсем иная.

В целом при исследовании органопрофилей почв региона, обнаружены корреляционные связи между мощностью отдельных подгоризонтов и общей мощностью лесной подстилки, между подгоризонтами такой взаимосвязи не обнаружено (таб. 5).

Таблица 5. Коэффициенты корреляции мощности подгоризонтов лесных подстилок и их мощностью в целом (n=485).

	OL	OF	OH
OF	0,27		
OH	0,19	0,39	
Лесная подстилка (O)	0,48	0,68	0,82

Вариабельность мощности подгоризонтов лесных подстилок в различных типах органопротилей автоморфных почв также существенно различается (рис. 8). С увеличением степени трансформации органического вещества мощность подгоризонтов уменьшается, как и размер отклонений от ее средних значений.

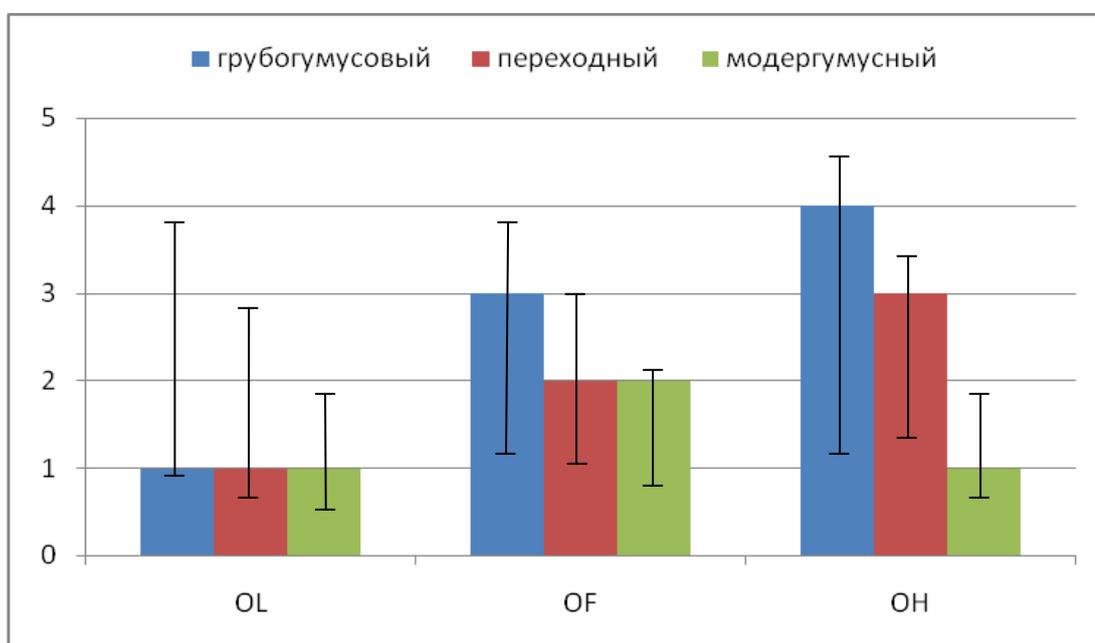


Рисунок 8. Мощность подгоризонтов лесных подстилок в органопротилей автоморфных почв.

4.4. Запасы органического вещества в почвах Карелии. Запасы органического вещества в лесной подстилке определяются особенностями биогеоценоза и характеризуют ее трофность. При увеличении увлажнения запасы возрастают в несколько раз (рис. 9).

В слоях 0–25 см и 0–50 см запасы органического вещества в исследованных песчаных почвах сосняков постепенно возрастают по мере увеличения увлажнения. Разница по запасам в слое 0–25 и 0–50 см не превышает 11 %, наиболее велика она в подзолах под сосняками черничным и кустарничково-сфагновым, где иллювирирование гумуса увеличивается по сравнению с более сухими местообитаниями. Однако, для подведения баланса углерода необходимо учитывать запасы во всем профиле почв.

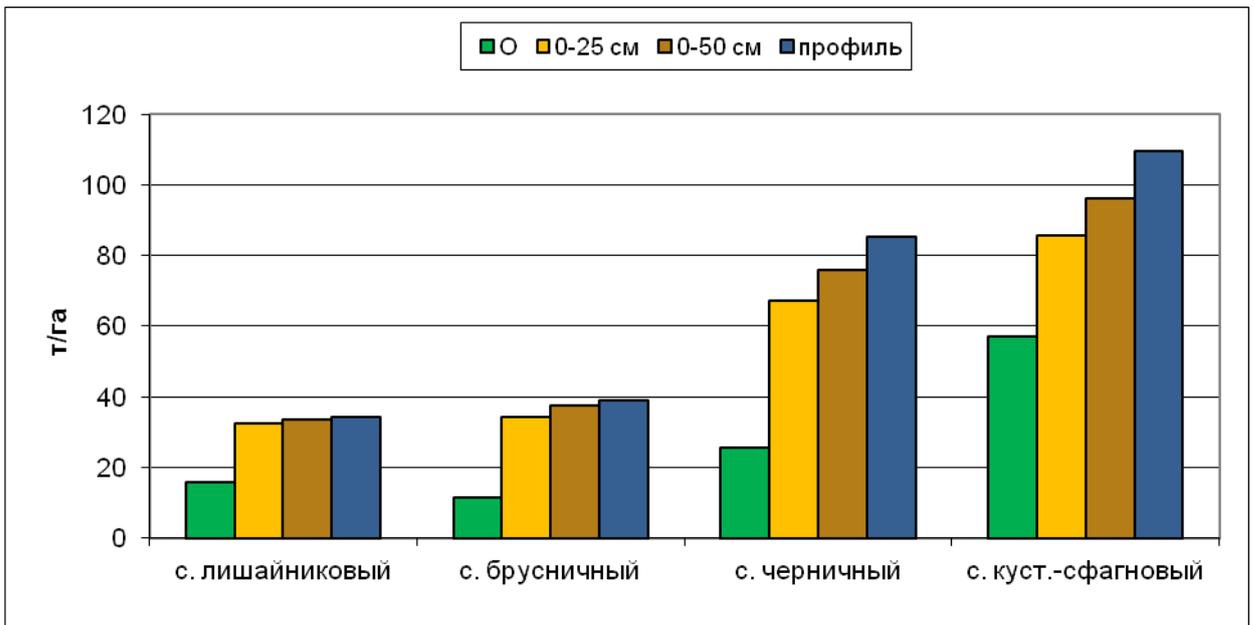


Рисунок 9. Запасы органического вещества в лесной подстилке, слоях 0–25 см и 0–50 см, а также в органопрфиле почвы в целом в экологическом ряду сосняков.

На «тяжелых» отложениях под еловыми лесами запасы органического вещества в 25– и 50–сантиметровых слоях почв также увеличиваются по мере нарастания их увлажнения (рис. 10). По сравнению с почвами сосновых насаждений они содержат значительно больше углерода.

Сравнительно с хвойными насаждениями в почвах березняка и осинника запасы углерода сравнительно невелики, они резко убывают с глубиной.

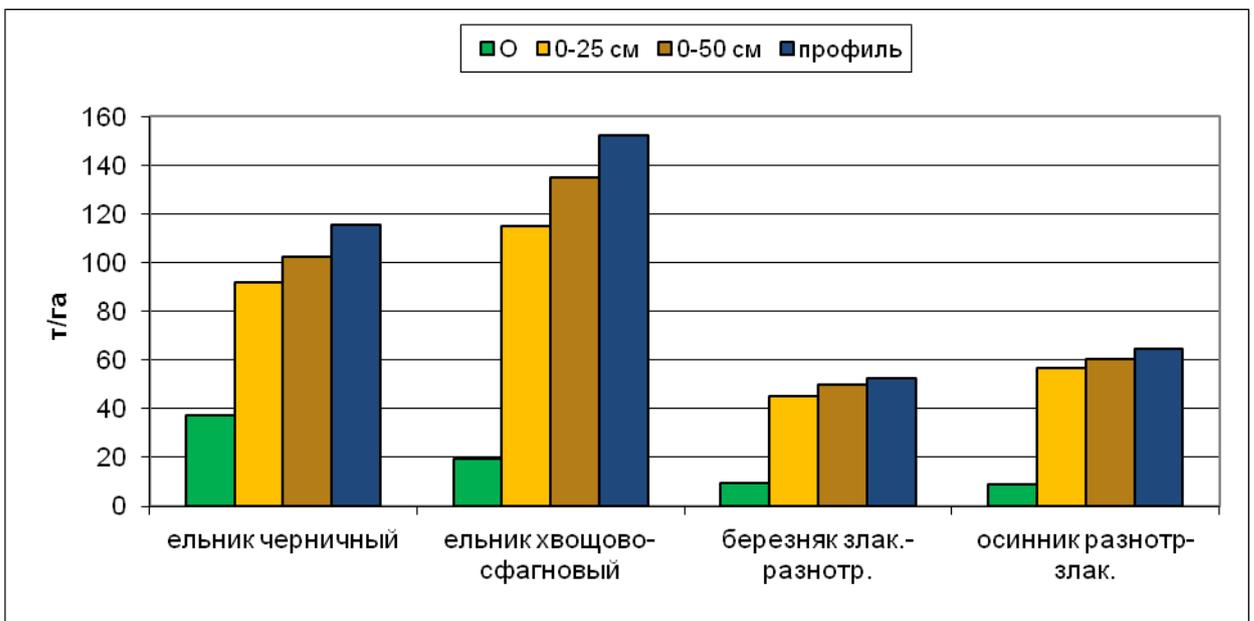


Рисунок 10. Запасы органического вещества в лесной подстилке, слоях 0–25 см и 0–50 см, а также в органопрфиле почвы в целом в еловых и лиственных лесах.

4.5. Трансформация органического вещества в почвах региона. Зольность лесных подстилок колеблется от 5 до 78 %, ее максимальные значения наблюдаются в почвах с небольшой мощностью органогенного горизонта, где минеральные примеси достигают 70–80 %, количество их увеличивается от верхних слоев подстилки к нижним. Однако, содержание химических элементов в органическом материале изменяется менее существенно, увеличиваясь в более минерализованных слоях. В составе зольных элементов подстилок сосновых лесов преобладают кремний, кальций, алюминий и железо (рис. 11).

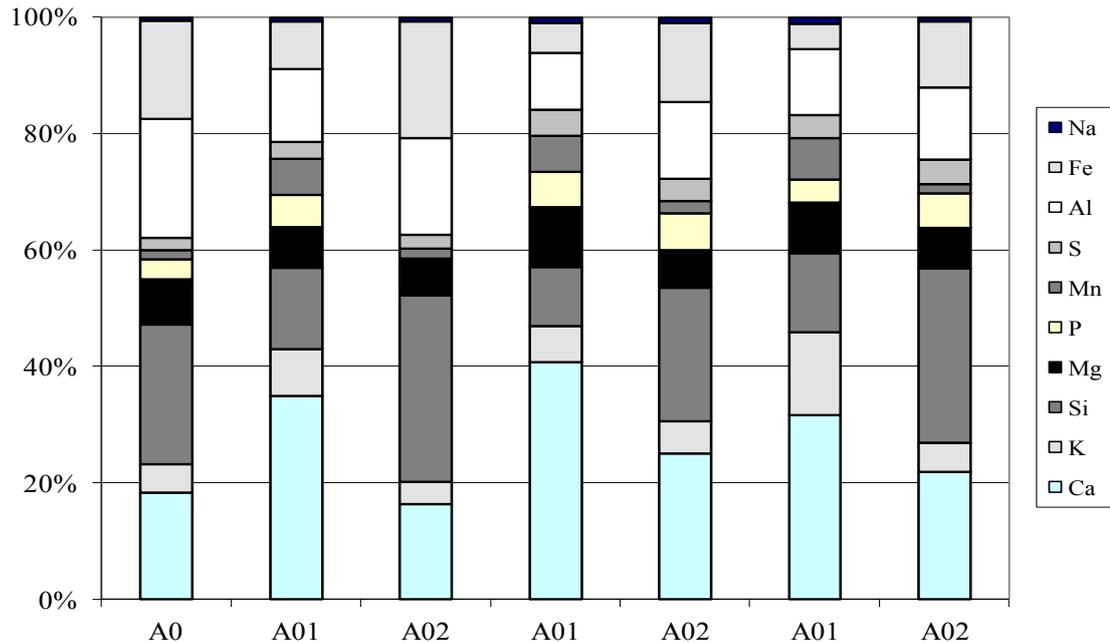


Рисунок 11. Зольный состав лесных подстилок почв экологического ряда среднетаежной подзоны, %.

Зольный состав подстилок неоднороден в различных слоях. По мере увеличения минерализации растительного материала уменьшается содержание основных элементов-органогенов: Ca, K, P, Mg, S, Mn и резко возрастает количество Al, Fe и Si.

В исследованных почвах водорастворимые соединения (моно- и дисахара) составляют незначительную часть *углеводов*, содержание их уменьшается от сухих местообитаний к более влажным. Это наиболее подвижная часть углеводов и уменьшение их содержания может быть связано как с миграцией вниз по профилю, так и с потреблением микроорганизмами.

Подгоризонты лесной подстилки также различаются по количеству растворимых углеводов (рис. 12). В более минерализованных слоях уменьшается накопление моно- и дисахаров, что связано с активным потреблением их микроорганизмами и почвенными животными как энергетического материала.

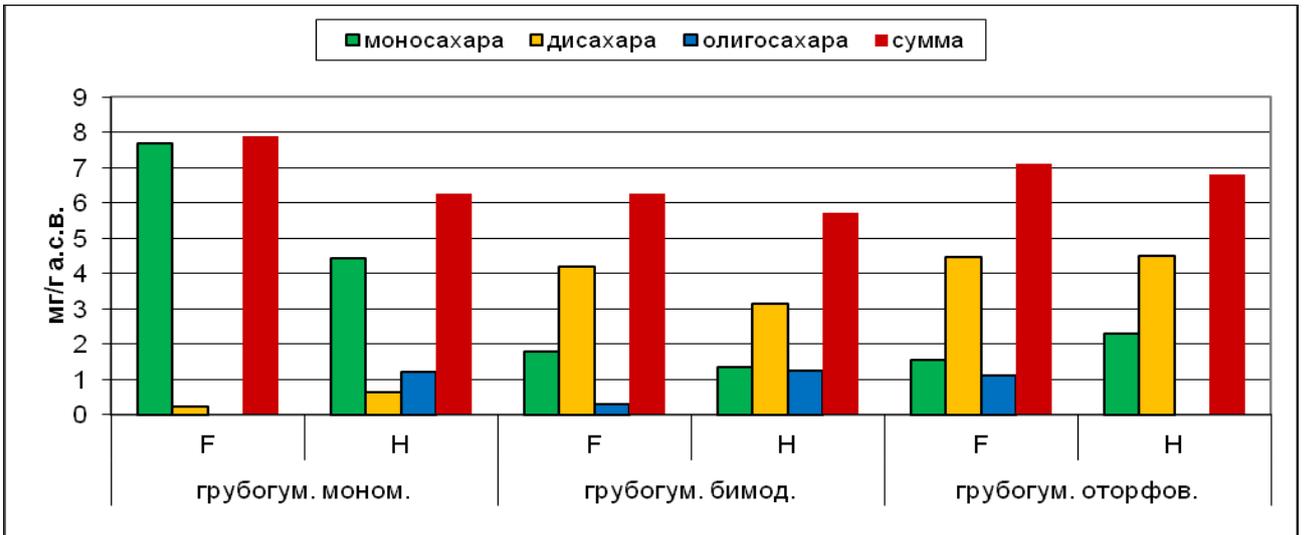


Рисунок 12. Содержание растворимых углеводов в лесных подстилках сосняков различных типов.

Важным для питания растений и микроорганизмов компонентом органического вещества являются также медленно минерализуемые нерастворимые полимеризованные углеводы (целлюлоза и стабильные гемицеллюлозы). Целлюлозолитический путь превращения органического вещества является одним из наиболее широких по масштабу и значимости в лесных экосистемах. Как показали результаты, наибольшее содержание целлюлозы отмечено в верхних подгоризонтах подстилки, в глубь органогенного горизонта оно постепенно уменьшается, то есть снижается количество слабо трансформированного растительного материала (рис. 13).

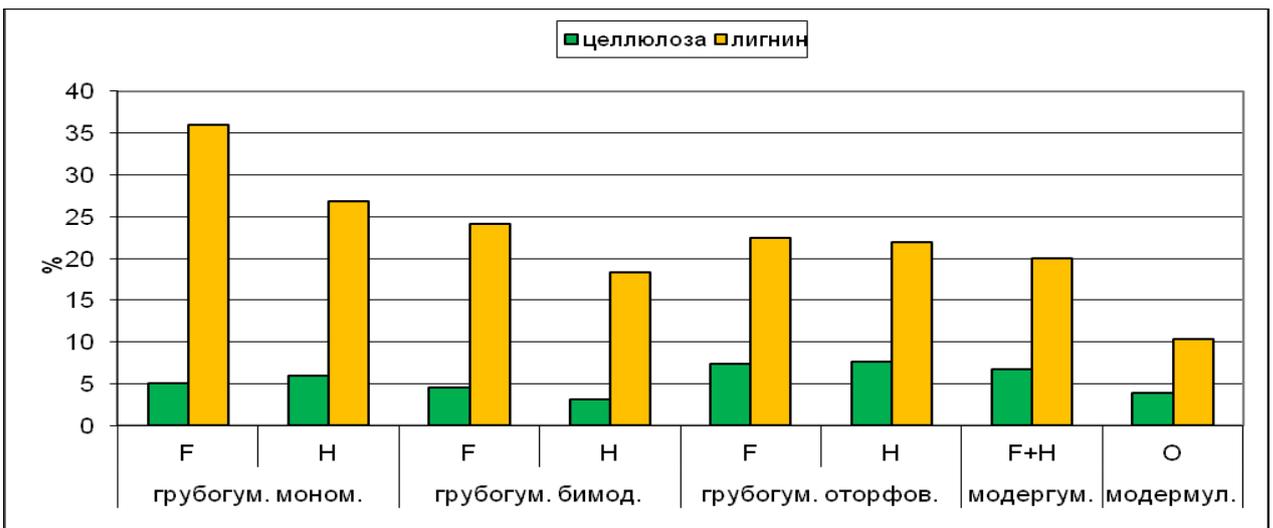


Рисунок 13. Содержание целлюлозы и лигнина в лесных подстилках сосняков.

В почвах экологического ряда сосновых насаждений содержание целлюлозы в нижних слоях подстилки понижается, в почвах гидроморфного ряда такой закономерности не отмечается. Количество целлюлозы в различных слоях

подстилки слабо зависит от степени ее минерализации. Наименьшее содержание этого компонента органического вещества наблюдается в хорошо трансформированной подстилке березняка разнотравного. В целом, содержание целлюлозы в органогенном горизонте зависит от того, насколько благоприятны условия для разложения растительного опада: чем они лучше, тем меньше содержание целлюлозы.

Гемицеллюлозы относятся к сравнительно плохо изученным гетерополисахаридам. Большое разнообразие состава нецеллюлозных гетерополисахаридов и строения их молекул обуславливает и неодинаковую скорость разложения в почве. В экологическом ряду сосновых насаждений наибольшее содержание лабильных гемицеллюлоз в лесных подстилках исследованных почв отмечено в сосняке черничном, что объясняется наиболее благоприятными условиями для трансформации органического вещества под этим насаждением (рис. 14). Большое количество стабильных гемицеллюлоз отмечено в верхних подгоризонтах лесной подстилки. Ниже по профилю, где процессы трансформации органического вещества идут более интенсивно, содержание их снижается. Количество крахмала в органогенном горизонте изученных почв в целом было невелико.

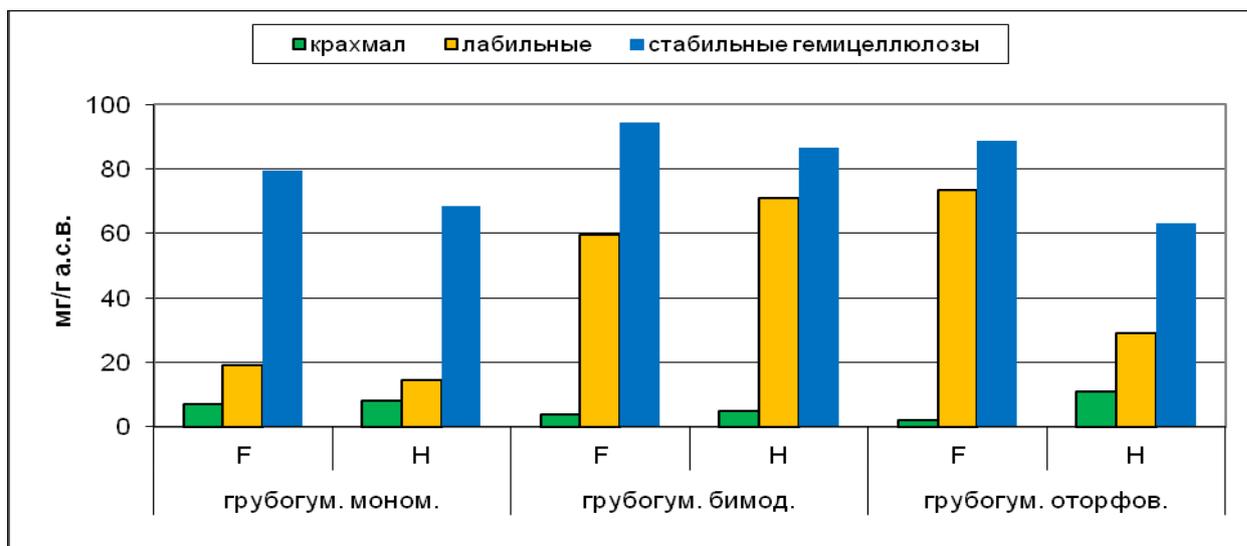


Рисунок 14. Содержание крахмала и гемицеллюлоз в лесных подстилках изученных почв.

Целлюлоза и гемицеллюлозы способны образовывать сложные высокомолекулярные комплексы с лигнином, который, несомненно, можно отнести к стабильной части органического вещества. В этой связи ряд исследователей рассматривают существование в почве единого лигноцеллюлозного комплекса (Аристовская, 1980.; Berg, Agren, 1984; Kogel-Knabner, 2002).

Разложение растительного опада сосняков хвойных насаждений замедленно вследствие высокого содержания в нем воскосмол. Для всех исследуемых лесных подстилок характерно высокое содержание этих веществ (6-20 %). В процессе гумификации и минерализации растительного опада происходит накопление битумов

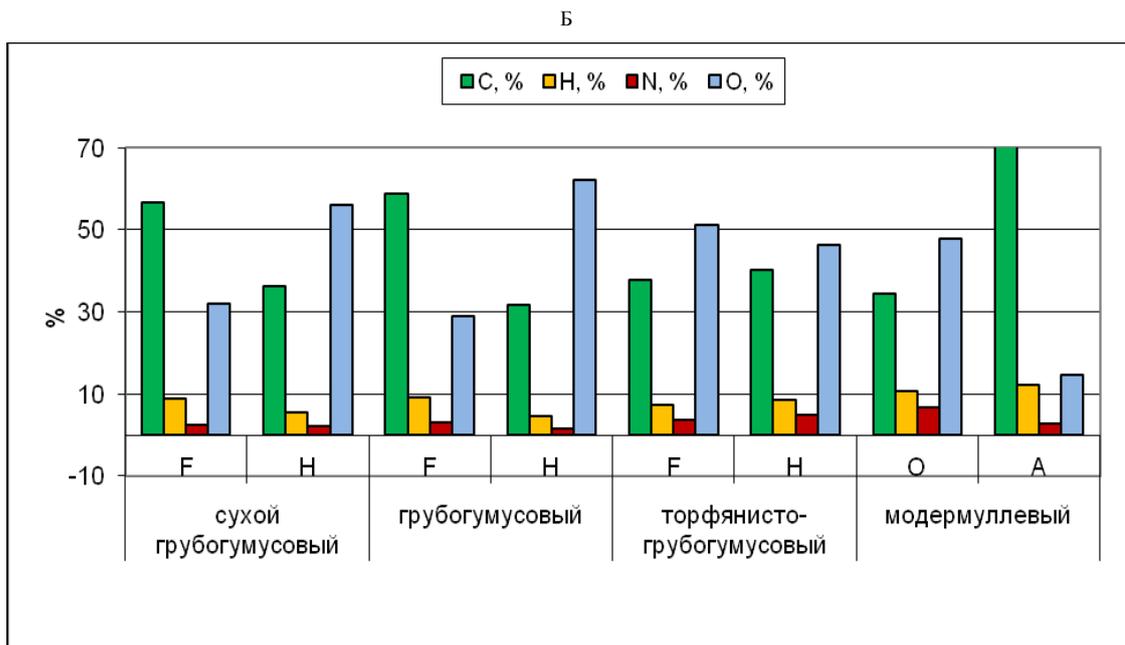
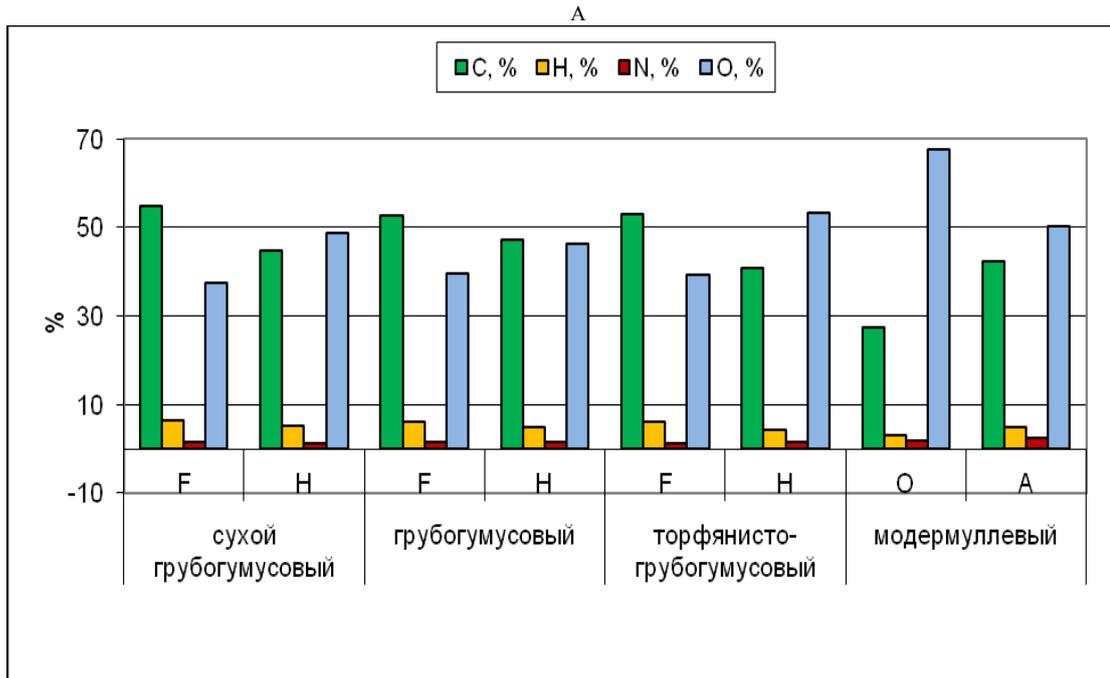
(негидролизуемый остаток), которых содержится в подстилках тем больше, чем хуже условия для минерализации.

Характер трансформации органического материала во многом определяется содержанием фенольных соединений, так как они составляют значительную часть водорастворимых соединений (Whitehead et al., 1983). Кроме того, они могут образовываться при разложении лигнина (Регуляторная роль..., 2002). Фенольные соединения влияют на скорость разложения органического вещества многогранно, ряд исследователей показал в своих работах ингибирующее воздействие полифенолов на процесс нитрификации (Azhar et al., 1986 и др.), влияние их на рост мицелиальных грибов (Lindeberg, 1985) и др. Как показали исследования, в верхних горизонтах подстилок в хвойных насаждениях, благодаря поступающему специфическому опаду, наблюдается повышенное содержание фенольных соединений. В нижних горизонтах по мере трансформации и вымывания органического вещества их количество уменьшается. В лиственных насаждениях отмечается наименьшее содержание фенольных соединений.

Повышенная влажность, низкие температуры, кислая реакция почв, поступление опада, богатого воскомолами, способствуют образованию преимущественно фульватного гумуса и своеобразному распределению его по профилю. Связь *группового и фракционного состава гумуса* с микроморфологией органического вещества исследованных органопрофилей неоднозначна. Достаточно высокое соотношение С_{гк}:С_{фк} (более 1) в горизонтах, где отмечается большое количество гелеобразного колломорфного гумуса, по-видимому связано со значительным содержанием протогумусовых соединений (Орлов, 1975, 1990; Гришина, 1986).

В органопрофилях изученных почв под хвойными лесами как гуминовые, так и фульвокислоты представлены подвижными формами, связанными с полуторными окислами или находящимися в свободном состоянии. Это подтверждается и содержанием подвижных полуторных окислов, распределение которых по профилю почвы совпадает с профильной кривой органического вещества. Высвобождающиеся при минерализации растительного опада продукты имеют кислую природу (вследствие низкой зольности опада хвойных лесов). Они создают кислую реакцию, которая неблагоприятна для процессов конденсации продуктов полураспада. Такая картина в целом характерна для подзолистых почв Карелии.

Сведения об *элементном составе гумусовых кислот* используют для суждения о степени их конденсированности, «зрелости», в качестве показателя направленности процесса гумификации. Содержание углерода в гуминовых кислотах лесных подстилок под сосновыми насаждениями колеблется от 53 до 56 %, под березняком значительно ниже (рис. 15). Более сложное строение – у гуминовых кислот гумусово-аккумулятивных горизонтов, где создаются благоприятные условия для конденсации молекул гуминовых кислот.



А – гуминовые кислоты, Б – фульвокислоты

Рисунок 15. Элементный состав гумусовых кислот в лесных подстилках сосняков различных типов.

Гуминовые кислоты подзолистых почв характеризуются постоянным содержанием в них водорода, в фульвокислотах оно немного выше и больше варьирует. Нижние части лесных подстилок характеризуются более высокой окисленностью по сравнению с верхними, что свидетельствует о более высокой трансформированности органического материала.

Гуминовые вещества содержат около 15 различных видов функциональных групп, среди которых наибольшее значение имеют карбоксильные группы, фенольные группы и аминогруппы. Почти во всех изученных почвах фульвокислоты отличались более высоким количеством кислых групп, чем гуминовые кислоты, что связано с их меньшими молекулярными массами. Величину кислотности фульвокислот в основном определяют карбоксильные группы, тогда как в гуминовых кислотах такой тенденции не отмечено.

Таким образом, исследование состава органического вещества почв позволило выявить различия в биохимическом составе различных органопротилей. Для сильно дренированных органопротилей характерен маломощный органогенный горизонт, слабое проявление процесса иллювиирования гумуса, низкие запасы органического вещества. Минерализация опада в этих условиях происходит очень медленно, что подтверждается и биохимическим составом лесных подстилок: особенно высоко содержание воскосмол и веществ типа битумов (негидролизуемого остатка), мала доля водорастворимых углеводов. Подгоризонты лесной подстилки различаются по элементному составу гуминовых и фульвокислот. Так, в подгоризонте F+N фульвокислоты содержат меньше углерода, но более окислены.

В грубогумусном органопротиле отмечается другой состав опада - появляется больше зеленых частей растений, поэтому в данных условиях происходит более глубокая трансформация опада. Морфологически это выражается в большей разложенности органического материала, более интенсивном иллювиировании гумуса вниз по профилю. Как показало изучение биохимического состава подстилки, в ней концентрируется повышенное количество растворимых углеводов. Содержание углерода в составе гуминовых и фульвокислот снижается в нижних слоях органогенного горизонта, однако окисленность их увеличивается.

С увеличением увлажнения формируется органопротиль торфянистый грубогумусный, разложение растительных остатков в данных условиях снова замедляется. Значительную долю опада составляют долгомошные и сфагновые мхи. Данные биохимического анализа показали, что в лесной подстилке снижается доля водорастворимых углеводов, увеличивается доля целлюлозы, отмечаются высокие значения негидролизуемого остатка. Гуминовые кислоты в верхнем подгоризонте подстилки достаточно богаты углеродом, с глубиной, где ухудшаются условия для трансформации органического материала, содержание углерода снижается в составе как гуминовых, так и фульвокислот.

При изменении опада (в лиственных насаждениях или при появлении в напочвенном покрове разнотравья) трансформация органического материала в верхних горизонтах почвы идет достаточно интенсивно. В результате возрастает содержание водорастворимых углеводов в верхних горизонтах, изменяется и состав гумуса. Гуминовые кислоты органогенного горизонта и следующего переходного к минеральной массе в значительной степени окислены. Для фульвокислот переходного горизонта отмечено высокое содержание углерода. По сравнению с почвами под хвойными лесами процессы трансформации органического вещества в данных условиях протекают с большей скоростью, в результате чего органическое вещество более интенсивно вовлечено в биологический круговорот.

Проведенные исследования показали, что данные морфологического строения и состава лесных подстилок, а также органического вещества в почве в целом хорошо коррелируют друг с другом.

4.6. Изменение органофильей почв в результате антропогенного воздействия. Проведенные исследования показали, что после сплошной *вырубки* древостоя особенно сильные изменения претерпевает верхний органогенный горизонт почв — лесная подстилка (O) (рис. 16).

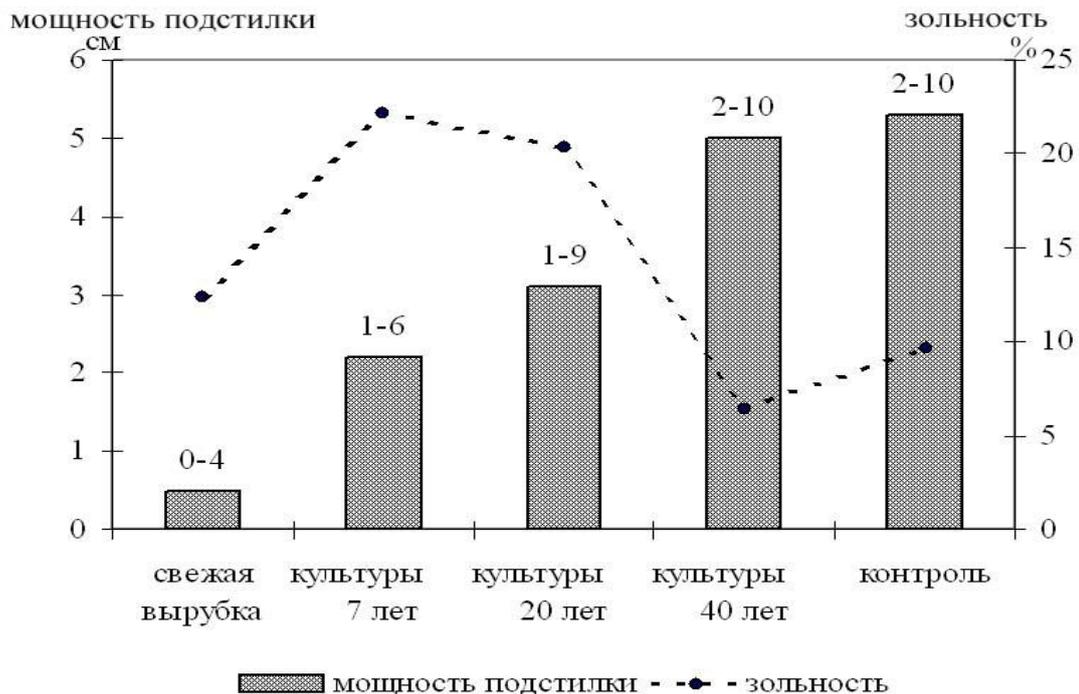


Рисунок 16. Свойства лесных подстилок почв, сформировавшихся в различных экологических условиях (n=100).

Распространение органогенного горизонта на поверхности почвы часто носит прерывистый характер, а биохимические процессы в нем заторможены. Блок стабильных органических соединений (гемицеллюлоза, целлюлоза) в почве

абсолютно превалирует над легкоразлагаемыми. Спустя несколько лет трудноразлагаемые компоненты опада (ветошь, сучья, отпад), которые оставались на поверхности почвы после сплошного удаления древостоя, в основном утрачивают свое анатомическое строение, поэтому могут более активно использоваться микробиотой, вовлекаться в круговорот веществ. В верхних горизонтах почв, сформировавшихся под хвойными насаждениями, более интенсивно, чем в нижележащей минеральной толще, происходит минерализация органического опада и активное потребление моно- и дисахаридов микробиотой в качестве энергетического материала, о чем свидетельствует уменьшение содержания этих соединений в лесных подстилках. Количество лабильных органических соединений ниже по сравнению с содержанием стабильных, наблюдается невысокое содержание таких трудноразлагаемых веществ, как целлюлоза. С увеличением возраста древостоев происходит смыкание кронового пространства, изменяется состав напочвенного покрова, и, соответственно, изменяется характер и интенсивность поступления на поверхность почвы органического материала. Морфологическое строение лесной подстилки, ее биохимические и микробиологические свойства (особенно в 40-летних насаждениях) соответствуют характеристикам этого горизонта в ненарушенных хвойных насаждениях таежной зоны.

В ряду пробных площадей «свежая вырубка→ 7-летний древостой→20-летний древостой→40-летний древостой» выявлены пространственно-временные закономерности, согласно которым определенному этапу развития древостоя соответствует определенный состав органического вещества почв, формирующийся в процессе его микробной трансформации.

Изучение почв, подверженных *аэротехногенному воздействию*, проводили в районе Костомукшского горно-обогатительного комбината (64°28`с.ш., 30°13`в.д.), одного из наиболее крупных промышленных предприятий на Северо-Западе России. Компонентами выбросов ГОКа являются соединения серы и азота, а также тяжелые металлы (железо, никель, хром и др.) (Государственный доклад., 1995, 1996). Проведенные исследования показали, что на расстоянии 5–16 км от комбината в результате техногенного воздействия изменялось микроморфологическое строение верхней органогенной части профиля почв. На расстоянии 5 км от ГОКа, где выпадает наибольшее количество пыли, отмечали повышенное содержание минеральных частиц в подгоризонтах лесной подстилки OL OF+OH, на расстоянии 16 км от предприятия выявили запыленность только верхнего подгоризонта (OL). Аналитические данные подтвердили микроморфологические исследования: на рассматриваемых пробных площадях возросла зольность лесных подстилок в 1,5–2 раза, которая является показателем степени их минерализованности, а также техногенного загрязнения поверхности почвы. Известно, что загрязняющие вещества, накапливаясь в верхних горизонтах почв, изменяют скорость биотрансформации органического вещества, нарушая естественное формирование органопрфиля. Однако, для исследуемых почв таких

изменений не отмечено, что связано с невысокой степенью аэротехногенного воздействия комбината в настоящее время.

Предполагаемого подкисления лесных подстилок на фоне аэротехногенного загрязнения не выявлено. Напротив, в органогенном горизонте почв импактной зоны (5 км) отмечали пониженные показатели кислотности и более высокие значения степени насыщенности основаниями по сравнению с контролем, что, по-видимому, обусловлено нейтрализующим эффектом щелочных и щелочноземельных металлов, которые содержатся в пылевых выбросах комбината.

Выявленные изменения морфологических и химических свойств исследуемых почв были незначительны, однако происходила структурно-функциональная перестройка микробного сообщества: возростала численность спорообразующих бактерий в блоке аммонификаторов, бактерий группы олигонитрофилов, активность ферментов цикла азота.

Глава 5. Органопродили почв в природных системах Северо-Запада России.

5.1. Характеристика органопродилей почв биогеоценозов. В исследованиях структуры лесного покрова зачастую понятия «тип леса» и «тип биогеоценоза» отождествляются (Сукачев, 1964а, б; Громцев, 2008). Однако, один и тот же тип леса можно встретить на различных почвообразующих породах, почвах, в различных ландшафтах. Например, сосняк черничный свежий можно встретить и на водно-ледниковых равнинах и в моренном ландшафте, соответственно, как на безвалунных, так и валунных песках. Почвами, на которых произрастает этот тип леса, могут быть подзолы иллювиально-железистые, иллювиально-гумусово-железистые и иллювиально-железисто-гумусовые, органопродили которых существенно различаются. Поэтому при описании органопродилей почв в пределах биогеоценозов представляется целесообразным их выделение в отдельных типах ландшафта. При описании ландшафтов Карелии выделено 20 типов леса в северной тайге и 18 в средней (Громцев, 2008). С учетом вышеизложенного биогеоценозов выделено существенно больше, так как одни и те же типы леса в пределах разных ландшафтов приурочены к разным почвам с отличными органопродилиями. Типы леса во многом сходны в северной и средней тайге, к югу несколько изменяется состав напочвенного покрова и повышается продуктивность древостоев. В северотаежной подзоне не встречаются сосняки и ельники кисличные, а в среднетаежной – сосняки болотно-кустарничковые и ельники кустарничково-сфагновые.

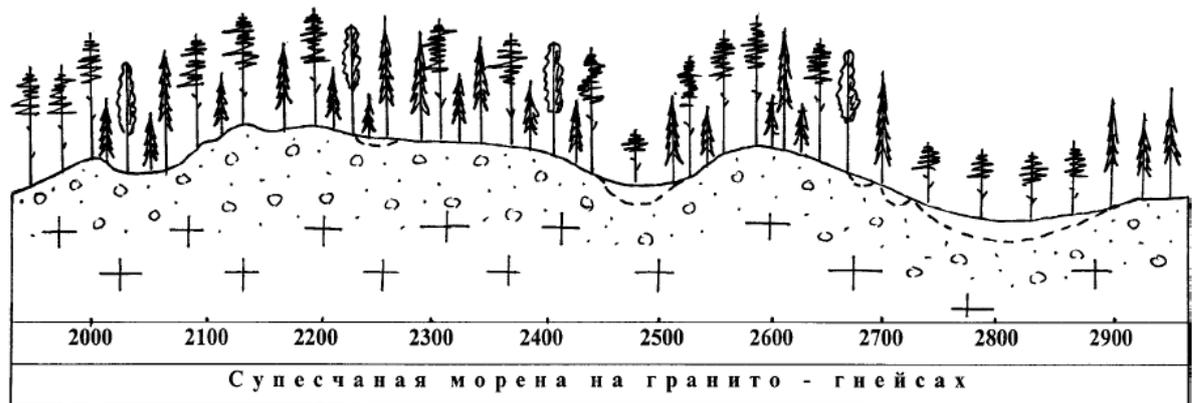
Проведенные исследования органического вещества почв во всех выделенных типах биогеоценозов позволили охарактеризовать соответствующие им органопродилии почв. В работе приведено их морфологическое строение, кислотность, степень насыщенности основаниями, содержание углерода и азота в горизонтах.

В результате проведенных исследований нами не выявлена четкая приуроченность органопродилей почв к определенным типам леса, каждая из выделенных единиц может встречаться в нескольких типах леса. Лишь с

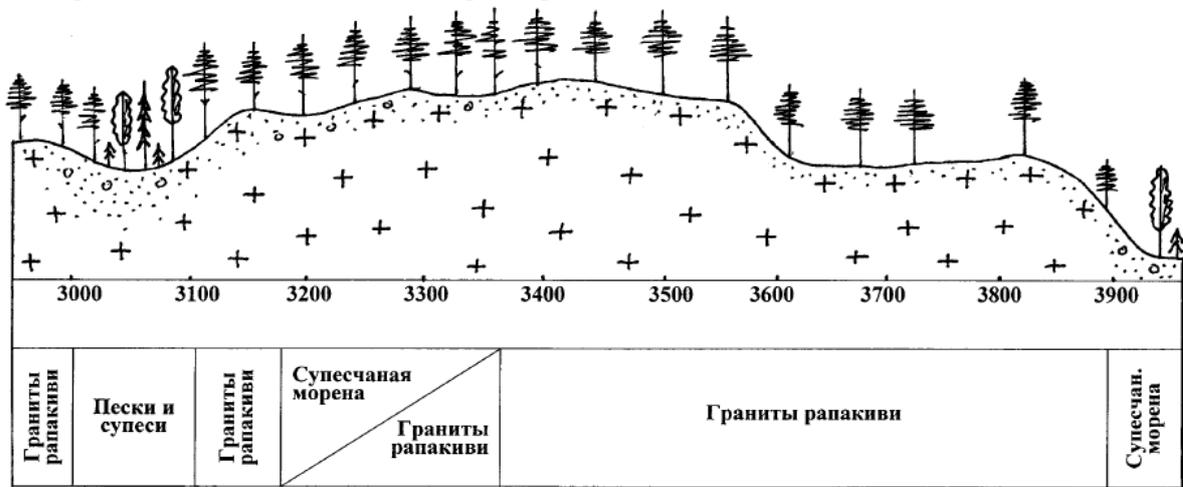
использованием почвы в качестве одно из параметров выделения биогеоценоза можно четко охарактеризовать приуроченность того или иного органопрофиля к конкретным типам леса. Необходимо отметить, что разные типы почв могут иметь один тип органопрофиля, и наоборот, что отмечалось и ранее (Черкинский, Чичагова, 1991). Однако выделение биогеоценозов по ряду вышеперечисленных параметров позволило определить приуроченность органопрофилей почв к ним.

5.2. Особенности органопрофилей почв в различных ландшафтах.

Представлены сведения о приуроченности органопрофилей почв к ландшафтам региона. Фоновые (характерные) типы органопрофилей почв встречаются во всех ландшафтах региона, но в различных ландшафтах меняется их соотношение. Редкие типы органопрофилей встречаются только в определенных типах ландшафтов. Рассмотрим два ландшафта, значительно различающихся по генетическим формам рельефа и степени заболоченности, – денудационно-тектонический холмисто-грядовый среднезаболоченный (№ 14) и скальный слабозаболоченный (№ 20). Фрагменты профилей, заложенных в данных ландшафтах представлены на рисунке 17.



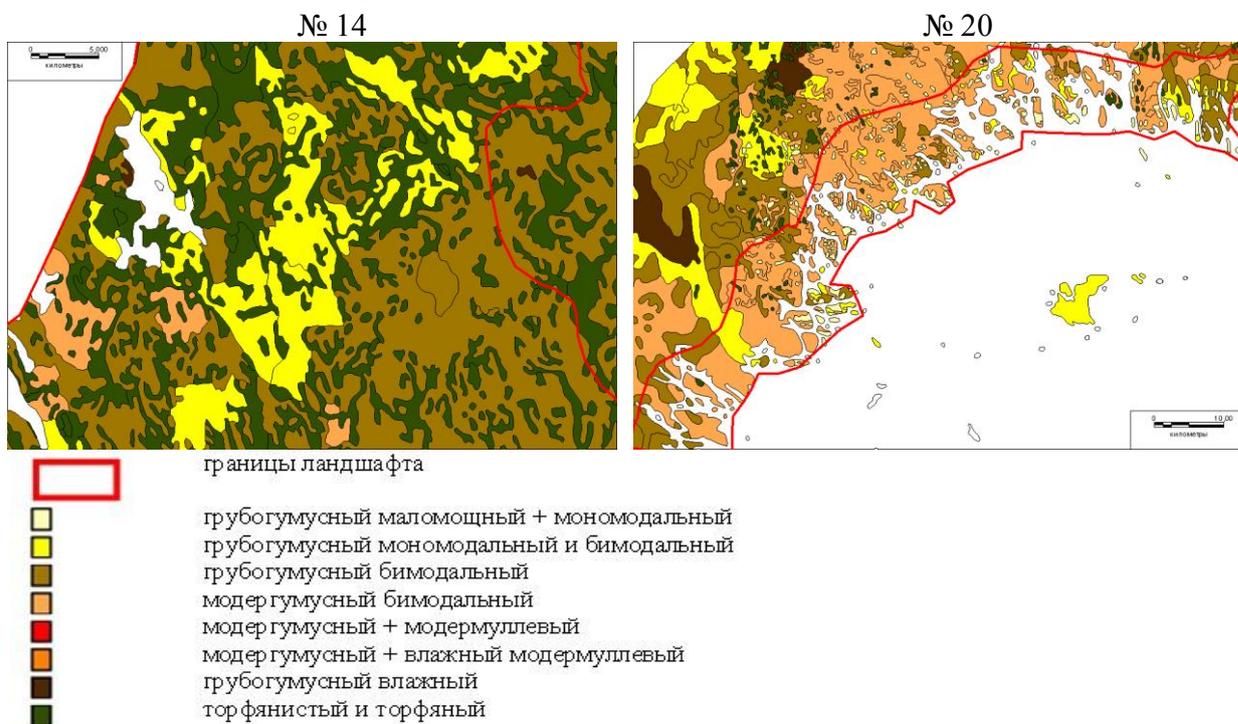
денудационно-тектонический холмисто-грядовый с комплексом ледниковых образований среднезаболоченный ландшафт с преобладанием сосновых местообитаний (№ 14)



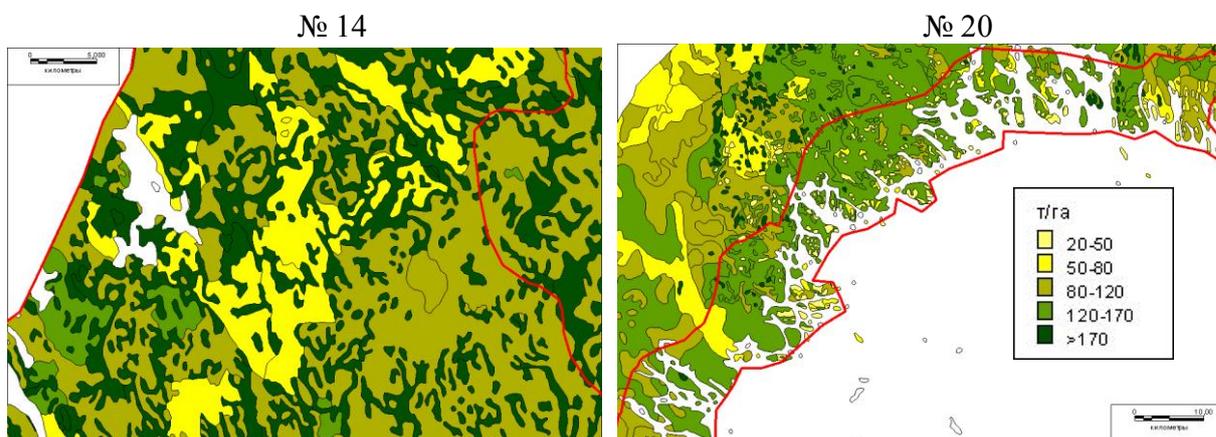
скальный слабозаболоченный ландшафт с преобладанием сосновых местообитаний (№ 20).

Рисунок 17. Фрагменты профилей, заложенных в исследованных ландшафтах.

В денудационно-тектоническом ландшафте среди органопроеилей почв на автоморфных позициях преобладает грубогумусный бимодальный (40 %), незначительную часть составляет грубогумусный маломощный (5 %). На переувлажненных участках формируется торфянистый или торфяной органопроеил (33 %), в полугидроморфных условиях грубогумусный влажный или грубогумусный оторфованный (22 %) (рис. 18).



Карта распространения органопроеилей почв



Карта запасов органического вещества в почвах

Рисунок 18. Распространение органопроеилей и запасы органического вещества в денудационно-тектоническом холмисто-грядовом с комплексом ледниковых образований среднезаболоченном (№ 14) и скальном слабозаболоченном ландшафтах (№ 20).

В автоморфных почвах скального ландшафта формируется в основном грубогумусный маломощный органопроеил (реже грубогумусный или модергумусный мономодальный), при увеличении мощности рыхлых отложений –

грубогумусный бимодальный, однако доля его невелика в почвах сухих местообитаний. На переувлажненных территориях формируются в зависимости от степени оторфованности грубогумусный влажный, грубогумусный оторфованный, торфянистый или торфяной органофиль. Достаточно редко встречается модергумусный влажный органофиль почв.

Качественный состав органического вещества почв изученных ландшафтов близок и является характерным для почв данных природных условий: содержание углерода в минеральной части исследованных почв характеризуется как низкое или очень низкое, крайне низка обогащенность гумуса азотом. Степень гумификации органического вещества слабая в нижних минеральных горизонтах во всех почвах, за исключением примитивных. Средняя гумификация наблюдается во всем профиле автоморфных почв скального ландшафта, а также в верхних горизонтах подзолов всех исследованных ландшафтов. Тип гумуса в наиболее распространенных почвах гуматно-фульватный или фульватный. По характеру распределения органического вещества по профилю исследованные почвы можно разделить на две группы: с постепенным снижением содержания гумуса по профилю и с элювиально-иллювиальным распределением органического вещества, то есть формированием двух максимумов его накопления – в горизонтах O и B1.

Лесорастительные свойства почв ландшафтов связаны в основном не с запасами органического вещества, а с его качественным составом и почвообразующей породой (соответственно со свойствами минеральной толщи почв).

Ландшафты региона значительно различаются и по запасам органического вещества распространенных в их пределах почв (в качестве примера на рисунке 18 приведены карты запасов органического вещества почв в двух ландшафтах – денудационно-тектоническом холмисто-рядовом среднезаболоченном и скальном слабозаболоченном (№ 20). Почвы гидроморфной группы являются основным резервуаром органического вещества, поэтому, чем больше площадь болотных торфяных почв, тем выше его запасы в данном ландшафте. Запасы органического вещества в блоке полугидроморфных и гидроморфных почв четко связаны со степенью заболоченности ландшафта, однако распределение запасов в этом блоке зависит от соотношения заболоченных лесов и открытых болот.

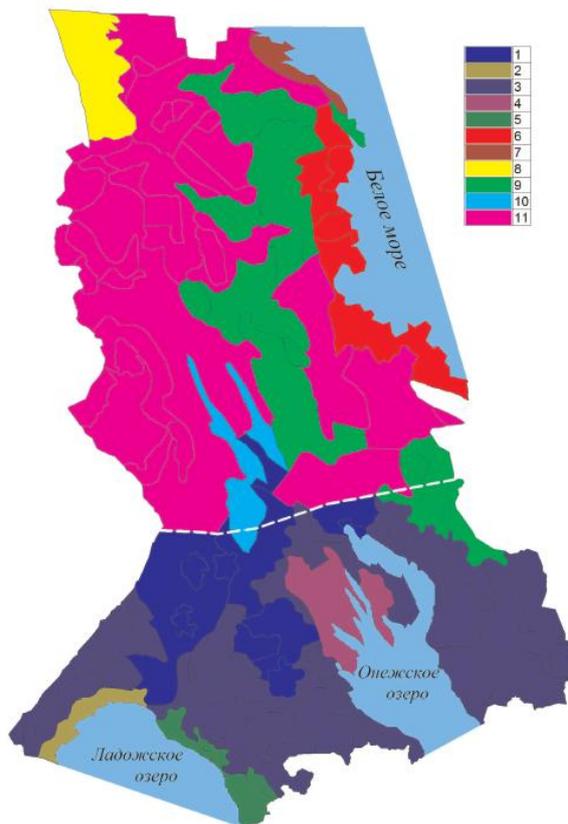
Наименьшие средние запасы в почвах на единицу покрытой лесом площади отмечены в скальных ландшафтах, наиболее высокие значения отмечены в ландшафтах группы озерных, озерно-ледниковых и морских равнин. Эти ландшафты отличаются высокой степенью заболоченности, значительную долю высоких запасов органического вещества в них обеспечивают гидроморфные почвы. Однако, расчет запасов органического вещества в почвах на площади, занимаемые ландшафтами в регионе, показывает иное распределение. Наибольшую площадь в регионе занимает ландшафт № 14 (денудационно-тектонический холмисто-рядовый среднезаболоченный), в нем сосредоточено более 40 % органического вещества почв.

5.3. Органопродили почв в различных ландшафтных районах Карелии.

Ландшафтный район представляет собой обширную лесную территорию, которую слагают в разной степени сходные типы ландшафта. В Карелии ландшафтные районы первоначально выделены по общности геолого-геоморфологических условий, А.Д. Лукашовым (2003) выделено 5 крупных районов: Северо-Карельский, Центрально-Карельский, Беломорский, Западно-Карельский и Южно-Карельский. В дальнейшем с учетом мощности четвертичных отложений, площади, занимаемой выходами коренных горных пород, климата, производительности древостоев, соотношения типов лесных местообитаний в Карелии определено 11 ландшафтных районов (рис. 19).

Отмечено, что ландшафтные районы значительно различаются между собой характеру органопродилей почв, встречающихся на их территории. Грубогумусовый органопродиль, являющийся фоновым для автоморфных почв региона, абсолютно доминирует в 2 районах – Западном (№ 1) и Центральном (№ 10), где его доля среди всех органопродилей лесных почв составляет 85 % (рис. 20). Реже всего он встречается (20–30 % территории) в Прибеломорском (№ 6) и Прионежском (№ 4) районах, в первом случае основная территория занята гидроморфными почвами, во втором – во многих почвах наблюдается более высокая степень трансформации органического вещества. В целом, грубогумусовый органопродиль почв составляет, как правило, 65–70 % территории района.

Фоновые слабо дренированные органопродили лесных почв (торфянистый и торфяной) составляют наибольшую долю в Прибеломорском районе (55 %), что связано с переувлажнением равнинной территории, покрытой древними морскими отложениями. Значительно меньше их доля в Центральном и Северо-Западном районах – $\leq 5\%$. В среднем доля таких органопродилей лесных почв в районах составляет 10–20 %.



1 – Западный, 2 – Северо-Западное Приладожье, 3 – Южный, 4 – Прионежский, 5 – Северо-Восточное Приладожье, 6 – Прибеломорский, 7 – Северное Прибеломорье, 8 – Северо-Западный, 9 – Северо-Восточный, 10 – Центральный, 11 – Северный

Рисунок 19. Ландшафтные районы Карелии (по: Громцев, 2008).

Проведенное районирование региона по ландшафтным районам показало, что выделенные районы значительно отличаются как по набору типов органопродилей почв, так и их соотношению. Основная часть покрытой лесом территории имеет набор фоновых типов органопродилей почв и определенное их соотношение (60-70 % грубогумусовый, 10-20 % торфянистый и торфяной органопродиле).

Отдельные районы значительно различаются по соотношению фоновых типов, что связано с рельефом и заболоченностью территории. Определяющее значение для появления редких (с относительно высокой степенью трансформации органического вещества) имеют состав и гранулометрический состав отложений.

Выделенные районы различаются не только по наличию тех или иных типов органопродилей почв, но и по запасам органического вещества почв (рис. 20). Особенно они велики в Северном районе, который занимает значительную территорию региона, однако максимальные запасы на единицу площади (1 га) отмечены в Прибеломорском районе. Минимальные запасы органического вещества почв как в расчете на площадь, занимаемую районом, так и на единицу площади наблюдаются на территориях, занятых скальными ландшафтами.

Запасы органического вещества в почвах на единицу площади лесных земель в большинстве районов близки – около 200 т/га. Они резко снижаются в районах, где распространены скальные местообитания, и возрастают при высокой степени заболоченности территории. Однако, при расчете на площади районов эти различия нивелируются, и запасы органического вещества почв того или иного района зависят от занимаемой им площади.

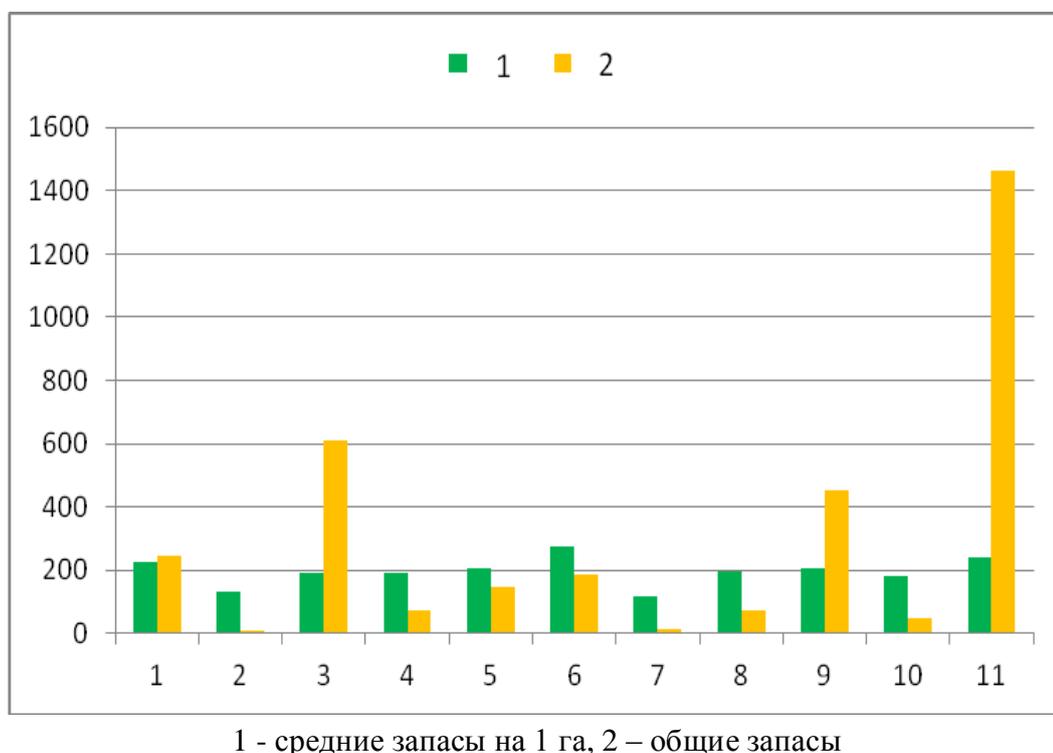


Рисунок 20. Запасы органического вещества в почвах ландшафтных районов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Для условий Северо-Запада России (на примере Карелии) исследована структурно-функциональная организация органопрофилей лесных почв. Впервые на основе детального изучения морфологического строения лесных подстилок, мощности органопофиля в целом, распределения органического вещества по профилю, его биохимических свойств и запасов разработана классификация органопрофилей почв региона на типовом и подтиповом уровне. В северо- и среднетаежной подзонах Карелии выявлено существующее разнообразие органопрофилей почв и оценена их приуроченность к определенным экологическим условиям.

Установлены особенности воздействия ведущих факторов почвообразования на формирование органопрофилей лесных почв. Показано, что в зональном и экологическом аспектах свойства органопрофилей значительно различаются. Выявлены оптимальные экологические условия деструкции растительного опада и обогащения минеральной толщи почв органическими веществами. В целом в регионе преобладают органопрофили грубогумусного типа. Однако в среднетаежной подзоне в группе автоморфных почв выявлены модергумусные мономодальные и бимодальные, а также модергумусные переходные и даже муллевые типы органопрофилей. На недостаточно дренированных участках распространены модергумусные оторфованные органопрофили почв.

Влияние климата территории (среднегодовой температуры и количества осадков) прослеживается в основном в органопрофилях почв автоморфных позиций и выражается в разнице запасов органического вещества в почвах северо- и среднетаежной подзон.

Насыщенность почвенного профиля водой, в значительной степени определяемая сложением почвообразующих пород и рельефом местности, обуславливает автоморфное или гидроморфное развитие органопрофилей почв. Установлено влияние уровня грунтовых вод на мощность лесной подстилки и в целом органопрофиля почв, а также запасы органического вещества в нем.

Проведенные исследования формирования типа органопрофиля почв и химического состава почвообразующих пород не выявили тесных взаимосвязей между ними.

Установлено влияние фитомассы лесных насаждений на характеристики органопрофиля почв (мощность лесной подстилки и органопрофиля в целом, запасы органического вещества в них, кислотность верхней части профиля и др.). Наибольшее значение для формирования органопрофиля почв имеет состав растений напочвенного покрова, в меньшей степени – древостоев. Установленные взаимосвязи характерны как для сосновых, так и еловых лесов.

Проведенные исследования позволили типизировать под сосновыми лесами северной тайги 6 органопрофилей из 15 встречающихся в регионе. В средней тайге разнообразие органопрофилей выше – выделено 9 типов, на автоморфных местоположениях встречаются грубогумусный переходный и модергумусный

бимодальный тип, на полугидроморфных – модергумусный оторфованный. Появление этих типов обусловлено более благоприятными природными условиями для трансформации органического вещества в почвах. Однако в целом как в северотаежной, так и в среднетаежной подзонах Карелии под сосновыми лесами преобладает грубогумусный бимодальный органофиль (на 50 % площади территории), значительную долю составляет также торфянистый тип (более 20 %).

Под ельниками в северотаежной подзоне формируется 9 типов органофиль, в средней тайге отмечено большее разнообразие органофиль почв – 13 типов. В группе автоморфных почв встречаются модергумусные мономодальный, бимодальный и переходный и даже мулловые. Как и под сосновыми лесами, под ельниками в основном встречается грубогумусный бимодальный органофиль (почти 50 % площади, занятой еловыми лесами), второе место занимает грубогумусный влажный тип органофиля (22–24 %).

Для почвенной фауны изученных почв средней тайги характерна систематическая однородность и относительная бедность на уровне семейств, родов и особенно видов. Большинство беспозвоночных относится к хищникам и в меньшей степени к фитофагам, во всех сообществах отмечалась крайняя бедность сапрофильного комплекса видов из числа мезофауны. Для всех изученных биотопов характерен типично подзолисто-таежный тип вертикального распределения – концентрация большей части беспозвоночных в подстилочных горизонтах.

Почвы преобладающих в регионе хвойных лесов бедны микроорганизмами, в них преобладают бактериально-грибные ценозы. Среди аммонификаторов в основном распространены неспоровые формы, участвующие в первой стадии минерализации органического вещества. Споровых аммонификаторов, благодаря которым происходит дальнейшее превращение органических веществ, мало, что обуславливает грубогумусный состав лесных подстилок данных почв. Отмечается низкая численность целлюлозоразрушителей, а также небольшая мощность микробного профиля. В почвах северотаежной подзоне структура микробценозов отличается еще большей однотипностью трофического и таксономического состава. Структура микробценозов почв на коренных породах не является характерной для зональных лесных почв, она не устойчива и, вероятно, будет изменяться по мере развития почвообразования.

Выявлены различия в биохимическом составе органического вещества почв. В лесных подстилках под хвойными насаждениями наблюдается низкое содержание углеводов, происходит относительное накопление целлюлозы, лигнина и фенолов, для органофиля почв характерен фульватный тип гумуса. Процесс трансформации органического материала в значительной степени заторможен, поэтому формируется грубогумусный тип органофиля, а при повышенном увлажнении – торфянистый. Под лиственными насаждениями условия трансформации растительного опада более благоприятны, поэтому в лесных подстилках повышается содержание лабильных углеводов, снижается количество

трудноразлагаемых веществ, формируется фульватно-гуматный тип гумуса, что находит отражение в морфологическом строении модергумусного органофилия.

Гумусовые кислоты, выделенные из почв под хвойными и лиственными насаждениями, различаются по содержанию углерода, количество которого выше в почвах лиственных лесов. Гуминовые кислоты характеризуются постоянными показателями содержания в них водорода, в фульвокислотах оно отличается большей вариабельностью. Особенностью нижних горизонтов лесных подстилок является более высокая степень окисленности гумусовых кислот по сравнению с верхними горизонтами.

Проведенные исследования показали, что после вырубки сосновых древостоев значительные изменения претерпевает лишь верхний органогенный горизонт почв — лесная подстилка. В процессе искусственного лесовосстановления увеличивается поступление органического материала на поверхность почвы в виде опада травянистой растительности и созданных хвойных культур. С увеличением возраста древостоев происходит смыкание кронового пространства древесных растений, изменяется состав напочвенного покрова и формирование органофилия почвы идет по зональному типу.

В результате проведенных исследований выявлено существующее разнообразие органофилий почв для всех выделенных в регионе коренных типов биогеоценозов. В пределах каждого биогеоценоза установлена приуроченность органофилий к элементам рельефа, уровню увлажнения, коренной лесобразующей породе и составу растений напочвенного покрова. Показаны особенности морфологического строения органофилий и химических показателей органического вещества почв.

Изучение органофилий почв в пределах лесных ландшафтов показало, что существуют значительные различия в особенностях органофилий этих природных систем. Так, в большинстве ландшафтов абсолютно доминируют грубогумусные и торфянистые органофилии почв, различается лишь соотношение их распространения. Однако в ряде ландшафтов, в основном среднетаежных денудационно-тектонических со значительным покровом богатых по химическому составу четвертичных отложений, встречаются органофилии с высокой степенью трансформации органического материала — модергумусные.

Сведения о характерных для почв ландшафта органофилиях, запасах органического вещества в них, а также о площадном распространении почв на территории, занимаемой ландшафтом, дают возможность оценить величину запасов органического вещества почв ландшафта в целом. Основное различие исследованных ландшафтов Карелии заключается в величине запасов органического вещества почв, распространенных в их пределах. Установлено, что она зависит от соотношения площадей заболоченных лесов и открытых болот, так как основным резервуаром органического вещества являются полугидроморфные и гидроморфные почвы.

Качественный состав органического вещества почв всех изученных

ландшафтов близок и является характерным для почв данных природных условий.

Для выделения ландшафтных районов Карелии контуры отдельных ландшафтов объединены с учетом особенностей покрова четвертичных отложений, климата, производительности древостоев, соотношения типов лесных местообитаний. В результате проведенного районирования на территории Карелии выделено 11 ландшафтных районов, для каждого из которых дана характеристика органопродилей почв, показано их площадное распространение и рассчитаны запасы органического вещества. Установлено, что все ландшафтные районы характеризуются специфическим набором почвенных органопродилей, различающихся между собой по мощности, степени трансформированности органического вещества и его запасам.

Ландшафтные подзоны на территории Карелии выделяются по биоклиматическим характеристикам, что совпадает с территориями северной и среднетаежной подзон. Показано, что ландшафтные подзоны различаются по наличию или отсутствию тех или иных типов органопродилей, а также по запасам органического вещества почв.

Проведенные исследования выявили, что для оценки величины пула углерода лесных почв таежной зоны необходимо учитывать не только запасы органического вещества корнеобитаемого слоя (0–25 или 0–50 см), а всего органопродила, что дает более полное представление о влиянии природных факторов региона.

Структурно-функциональная организация органопродила почвы отражает влияние как биотических, так и абиотических компонентов лесных экосистем, что позволяет считать его интегральным показателем природных условий.

Список основных публикаций по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК

1. Федорец Н.Г., **Бахмет О.Н.**, Солодовников А.Н. Почвы и почвенный покров российско-финляндского парка «Дружба» // Труды КарНЦ РАН. Вып. «Зеленый пояс Фенноскандии». 2014. С. 18-27.
2. **Бахмет О.Н.**, Медведева М.В. Трансформация органического вещества почв на вырубках различного возраста среднетаежной подзоны Карелии // Лесоведение, 2013. № 3. С. 38-45.
3. **Бахмет О.Н.** Особенности почв скальных ландшафтов Карельского побережья Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: Естественные и технические науки. 2013. № 6 (135). С. 55-59.
4. **Бахмет О.Н.** Особенности органического вещества почв в различных ландшафтах Карелии // Лесоведение. № 2. 2012. С. 19-27.
5. **Бахмет О.Н.**, Федорец Н.Г., Крышень А.М. Исследования по международной программе ICP-forests в Карелии // Труды КарНЦ РАН. № 2. Сер. Биогеография. Вып. 12. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 133-139.
6. **Бахмет О.Н.** Запасы органического вещества почв в ландшафтах северной и средней тайги Карелии // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 4. 2009. С. 45-49.
7. Синькевич С.М., **Бахмет О.Н.**, Иванчиков А.А. Роль лесных почв в региональном балансе углерода // Почвоведение. № 3. 2009. С. 290-300.
8. **Бахмет О.Н.**, Федорец Н.Г. Использование морфологических и химических показателей почв для оценки продуктивности скальных сосняков Карелии // Лесоведение. № 6. 2008. С. 1-5.
9. Медведева М.В., **Бахмет О.Н.**, Яковлев А.С. Микробиологическая и биохимическая индикация состояния почв Карелии, подверженных воздействию аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. № 1. 2006. С. 72-76.
10. **Бахмет О.Н.**, Шоба С.А. Морфологические и биохимические особенности органофильных лесных почв Карелии // Лесоведение. № 3. 2006. С. 74-79.
11. Медведева М.В., **Бахмет О.Н.**, Яковлев А.С. Процессы деструкции опада ели в условиях аэротехногенного загрязнения // Лесоведение. № 4. 2006. С. 1-4.
12. Медведева М.В., **Бахмет О.Н.**, Яковлев А.С. Биологическая диагностика аэротехногенного загрязнения лесных почв Восточной Фенноскандии (на примере Костомукшского ГОКа) // Почвоведение. 2003. № 1. 2003. С. 32-39.
13. Медведева М.В., **Бахмет О.Н.** Современное состояние микробиоценоза лесных почв, загрязненных аэрополлютантами в условиях Северо-Запада России // Лесоведение. № 6. 2001. С. 37-40.

Монографии и монографические сборники

14. **Бахмет О.Н.**, Федорец Н.Г. Почвенный покров // Сельговые ландшафты Заонежского полуострова: природные особенности, история освоения и

- сохранение. Ред. А.Н. Громцев. Петрозаводск: изд-во КарНЦ РАН, 2013. С. 60-64.
15. Бахмет О.Н. Почвенные объекты // Научное обоснование развития сети особо охраняемых природных территорий в Республике Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 21-26.
 16. Бахмет О.Н. Почвенный покров // Природный комплекс горы Воттоваара: особенности, современное состояние, сохранение. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 31-34.
 17. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Морозова Р.М., Солодовников А.Н. Почвы и почвенный покров особо охраняемых природных территорий Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. - 109 с.
 18. Бахмет О.Н. Почвенный покров // Скальные ландшафты Карельского побережья Белого моря: природные особенности, хозяйственное освоение, меры по сохранению. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 23-27.
 19. Бахмет О.Н., Солодовников А.Н. Почвенные условия // Материалы инвентаризации природных комплексов и природоохранная оценка территории «Чукозеро». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 20-25.
 20. Бахмет О.Н., Преснухин Ю.В. Генезис и плодородие почв на коренных почвообразующих породах // Разнообразии почв и биоразнообразии в лесных экосистемах средней тайги. М.: Наука, 2006. С. 18-37.
 21. Бахмет О.Н., Морозова Р.М. Почвенный покров // Природные комплексы Вепсской волости: особенности, современное состояние, охрана и использование. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 30-35.
 22. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. - 239 с.

Статьи в других научных изданиях

23. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Экологические особенности почв Зеленого пояса Фенноскандии // Труды КарНЦ РАН. No 2. Зеленый пояс Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 39-47.
24. Бахмет О.Н. Биохимические особенности органофильных лесных почв Карелии // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 88-100.
25. Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Бахмет О.Н., Солодовников А.Н. Почвы и почвенный покров заповедника "Кивач" // Природа государственного заповедника "Кивач". Труды КарНЦ РАН. Выпуск 10. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 131-152.
26. Морозова Р.М., Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Почвы и почвенный покров Заонежья Карелии // Труды КарНЦ РАН. Выпуск 6. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 69-89.

27. Bakhmet O. Morphological characteristics of soil organic matter in Eastern Fennoscandia // Biodiversity and conservation of boreal nature. Proceedings of the 10 years anniversary symposium of the Nature Reserve Friendship. The Finnish Environment. № 485. 2003. Pp. 69-72.
28. Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Бахмет О.Н. Почвы и почвенный покров национального парка "Паанаярви" // Природа национального парка "Паанаярви". Труды КарНЦ РАН. Выпуск 3. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 49-54.
29. Бахмет О.Н., Шоба С.А. Особенности микростроения лесных почв Карелии // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 37-53.

Материалы конференций и симпозиумов

30. Бахмет О.Н. Состав органического вещества почв Карелии на различных стадиях искусственного лесовосстановления // Сборник материалов V-ой Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием. Пушино: ИФХиБПП РАН, 2013. С. 166.
31. Бахмет О.Н. Особенности органофильных почв в ландшафтах Карелии // Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Всерос. с международ. участием научн. конф. «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования» (Петрозаводск - Москва, 13-18 августа 2012 г.). Кн. 3. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 198-199.
32. Медведева М.В., Бахмет О.Н., Яковлев А.С. Эколого-микробиологический мониторинг почв Восточной Фенноскандии, находящихся в условиях аэротехногенного загрязнения // Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Всерос. с международ. участием научн. конф. «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования» (Петрозаводск - Москва, 13-18 августа 2012 г.). Кн. 3. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 226-228.
33. Бахмет О.Н. Органофильность почвы – интегральный показатель природных условий // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: Мат-лы IV Всерос. научн. конф. с международ. участием по лесному почвоведению. Ч. 2. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2011. С. 74-77.
34. Бахмет О.Н. Почвообразование в лесных ландшафтах Карелии // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: Мат-лы IV Всерос. научн. конф. с международ. участием по лесному почвоведению. Ч. 2. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2011. С. 43-47.
35. Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Бахмет О.Н. Почвы и почвенный покров особо охраняемых природных территорий Карелии // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: Мат-лы IV Всерос. научн. конф. с международ. участием по лесному почвоведению. Ч. 2. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2011. С. 69-72.

36. Bakhmet O., Sinkevich S. Importance of soil in the regional carbon budget of pine forests in North-Western Russia // *Managed Forests in Future Landscapes: implications for water and carbon cycles: Book of Abstracts*. Santiago de Compostela, Spain, 2011. P. 86.
37. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Динамика морфологических и химических показателей подзолистых почв при различной интенсивности ведения лесного хозяйства в северотаежной подзоне // *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Матер. докл. III Всерос. науч. конф. с международ. участием*. Ч. 1. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2010. С. 143-146.
38. Bakhmet O., Heikkilä R. Northern taiga soils in Russia and Finland // *20 years anniversary symposium of Finnish-Russian Friendship Nature Reserve*. Finland, Kuhmo, 2010. P. 11.
39. Бахмет О.Н. Особенности органического вещества почв в различных ландшафтах Карелии // *Продуктивность и устойчивость лесных почв: Материалы III Международ. конф. (Петрозаводск 7-11.09.2009 г.)*. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 45-48.
40. Бахмет О.Н. Органическое вещество лесных почв как звено в круговороте углерода региона с интенсивным лесопользованием // *Материалы V Всероссийского съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева*. Ростов-на-Дону, 2008. С. 198.
41. Fedorets N., Morozova R., Bakhmet O. Soil and Soil Cover along the Russian-Finnish Border // *Transactions of "Eurosoil 2004"*. Germany, Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2004. P. 243.
42. Bakhmet O.N. Role of the soil organic matter in boreal ecosystems // *Transactions of the 17th world congress of soil science "Soil Science: Confronting New Realities in the 21st Century"*. 2002.
43. Bakhmet O.N., Shoba S.A. Soil organic matter transformation in Eastern Fennoscandia // *Materials of International Working Meeting on Micropedology*, Gent (Belgium). Belgium, 2001. P. 15.
44. Bakhmet O.N. Formation of organic matter profiles of cryosols in Eastern Fennoscandia // *Abstracts of Third International Conference on Cryopedology "Dynamics and Challenges of Cryosols"*. Copenhagen, 2001.