В.П. Фирсова, Т.С. Павлова

Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
Институт экологии растений и животных

В.П.Фирсова, Т.С.Павлова

Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах

ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
Москва 1983

УДК 631.42

Фирсова В.П., Павлова Т.С. Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах. М.: Наука, 1983.

В книге обобщены результаты многолетних исследований взаимосвязи лесной растительности с почвами в горных условиях. Сообщаются новые данные об особенностях горного почвообразования. Установлены зависимости содержания азота и зольных элементов в хвое сосны, в напочвенном покрове и в подстилках от экологических условий. Рассмотрены особенности биологического круговорота веществ в системе почва–растение в сосновых лесах.

Табл. 78. Ил. 14. Библиогр. 192 назв.

Ответственный редактор

доктор биологических наук
профессор П.Л. ГОРЧАКОВСКИЙ

Ф $\frac{3802020000-567}{042(02)-83}$ 329–83–IV

©Издательство "Наука", 1983 г.

ВВЕДЕНИЕ

Сосна является важнейшей лесообразующей породой. Ареал ее простирается от 70 до 40° с.ш. Значительные пространства (от 10 до 20% от лесопокрытой площади) занимает она в горных лесах. Способность сосны обыкновенной существовать в разнообразных экологических условиях делает ее важным стабилизатором сложных и легкоуязвимых горных экосистем. В этом плане приобретают большое значение изучение экологических условий произрастания сосны, особенностей взаимосвязи ее с почвами, оценка роли сосновых лесов в процессе обмена веществ в системе растение–почва.

Высокие технические свойства древесины сосны обусловили широкую эксплуатацию сосновых лесов. Этому способствовало также произрастание их на хорошо дренированных, более доступных местоположениях, а также высокая их производительность по сравнению, например, с темнохвойными лесами. В результате этого к настоящему времени площадь, занимаемая спелыми сосновыми лесами, и их запасы значительно сократились. В этой связи повышение продуктивности и устойчивости сосновых лесов как источника ценного сырья является одной из актуальных и важнейших задач лесного хозяйства.

Урал вследствие его большой протяженности с севера на юг и значительных изменений климатических условий в этом направлении, а также в связи со сложностью геологического строения, обусловливающего разнообразие химического состава минеральной части формирующихся здесь почв, является весьма интересным объектом для изучения экологических условий и выявления процессов, определяющих продуктивность и возобновляемость сосновых лесов, играющих большую хозяйственную, природоохранительную и эстетическую роль в этом промышленном регионе.

Нами исследовались сосновые леса от северных до южных границ их распространения на Урале–северная, средняя и южная тайга и подзона предлесостепных сосново-березовых лесов (по лесорастительному районированию Б.П. Колесникова [1960]). В северной и средней тайге пробные площади были заложены в различных лесорастительных условиях – от свежих с неустойчивым режимом увлажнения (сосняки брусничные и сосняки зеленомошно-ягодниковые) до влажных (сосняки бруснично-багульниковые и крупнотравные) [Смолоногов и др., 1972; Лесорастительные условия..., 1973]; в южной тайге и в подзоне сосново-березовых лесов – от периодически сухих типов лесорастительных условий (сосняки брусничные), устойчиво свежих (сосняки ягодниковые и травяно-зеленомошные), периодически влажных (сосняки разнотравные) до влажных

(сосняки хвощевые) [Горчаковский, 1959; Колесников, 1961; Фильрозе, 1967; Лесорастительные условия..., 1973].

Для выявления особенностей поведения биогенных элементов в системе растение–почва в сосновых биогеоценозах нами проводилось сравнительное изучение некоторых звеньев обмена в других биогеоценозах, где основными древесными породами являются кедр (Pinus sibirica (Rupr.) Maya) и ель (Picea obovata Ledeb.).

Пробные площади закладывали в спелых и приспевающих древостоях. Всего изучены 87 участков лесных фитоценозов – сосновых, еловых, кедровых. Из них на 35 пробных площадях сосновых фитоценозов определяли запасы фитомассы напочвенного покрова и подстилки. Для этого в каждом фитоценозе закладывали по 10–15 учетных площадок размером 1 × 1 м^2 методом случайной выборки. Ошибка выборки по определению запасов напочвенного покрова и подстилки не превышает 10%. В результате для каждого типа леса в каждой подзоне заложено от 20 до 50 учетных площадок. С каждой учетной площадки в 10–15-кратной повторности срезали всю растительность травяно-кустарничкового и мохового ярусов до поверхности почвы. Определяли ее сырой вес и отбирали средний образец из 10 индивидуальных для химического анализа и определения влажности (в 5–10-кратной повторности).

Сбор подстилки проводили в 10–15-кратной повторности на тех же учетных площадках, где предварительно был снят растительный покров. Подстилку подрезали со всех сторон и осторожно снимали по слоям. Каждый слой взвешивали, тщательно перемешивали и из него отбирали среднюю пробу для анализа и для определения влажности (в 5–10-кратной повторности). Запасы фитомассы и подстилки и химических элементов в них рассчитаны на абсолютно сухую навеску.

Подстилку по составу принято подразделять на активную (хвоя, листья, семена, труха, мох, трава) и неактивную (сучья, стволы, деревья, шишки) части [Карпачевский, 1973]. Нами учитывалась только активная часть, так как: во-первых, масса ее не зависит от эпизодических факторов (снеголома, охлестывания и пр.), а следовательно, амплитуда колебания ее запасов значительно меньше, чем неактивной части; во-вторых, активная фракция вследствие большей скорости разложения интенсивнее вовлекается в биологический круговорот в системе растение–почва.

Для выяснения изменения зольного состава отдельных компонентов, составляющих подстилку при разложении, из подстилки отбирали побуревшую сосновую хвою, еще не потерявшую свою форму, и побуревшую часть зеленых мхов.

Исходя из имеющихся представлений [Костылева, 1973; Lundegardh, 1951; Leuton, Armson, 1955; Wehrmann, 1959; Ingestad, 1963; Heinsdorf, 1967] о том, что химический состав хвои меняется в течение вегетационного периода в зависимости от положения в кроне и от возраста ее, для сопоставимости аналитических данных проводился сбор хвои 3–4-летнего возраста с терминальных побегов модельных деревьев в конце вегетации.

В составе напочвенного покрова лесов всей обследованной территории широко представлены мхи Шребера (Pleurozium Schreberi (Brid) Mitt), брусника (Vaccinium vitis idaea L.), черника (Vaccinium myrtillus L.), поэтому эти растения выбраны для выяснения изменения их зольного

состава в разных экологических условиях. Отбор их для анализа проводили в проекции периферийной части кроны деревьев, с тем чтобы по возможности оценить влияние на питание этих растений различных по химическому составу атмосферных вод, стекающих с хвои кедра, сосны и ели, содержащей разное количество азота и зольных элементов, в какой-то мере исключив влияние на растения химического состава вод, стекающих со стволов.

Зольный анализ растений и верхнего слоя подстилки проводился по методике М.А. Бобрицкой [1958] и Л.А. Гришиной и Е.М. Самойловой [1971]; определялись кремний, алюминий, железо, кальций, магний, фосфор, калий, сера, марганец. В нижних подгоризонтах подстилки определялись: потеря при прокаливании, валовой состав спеканием в платиновых тиглях [Аринушкина, 1970], а также кремний, железо, алюминий, кальций, магний, фосфор. Во всех анализируемых образцах определяли гигроскопическую влагу и азот по Кьельдалю [Бобрицкая, 1958].

Состав органического вещества подстилок и почв определяли по методу Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [1975]. Для химической характеристики подстилок и почв определяли: $pH_{сол}$, кислотность по Соколову, обменные основания ($Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$), гумус по Тюрину, азот по Кьельдалю, подвижный фосфор по Кирсанову, калий по Пейве. Механический состав в почвах определяли по Качинскому, валовой химический состав – по Гедройцу и Аринушкиной.

Полученные данные обрабатывали методом математической статистики [Дмитриев, 1972], вычисляли среднее содержание ($\bar{x}$), среднее квадратичное отклонение (σ), критерий достоверности различий (td). В настоящей работе обобщены результаты 12-летних исследований, выполненных в лаборатории лесного почвоведения Института экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР. В сборе и аналитической обработке принимали участие М.И. Дергачева, А.Г. Киршина, С.Г. Журавлева, Г.К. Ржанникова.

Нами использованы таксационные характеристики древостоев, типология лесов и схем лесорастительного районирования, выполненные сотрудниками лаборатории лесоведения – Р.С. Зубаревой, В.А. Кирсановым, Б.П. Колесниковым, Е.П. Смолоноговым и Е.М. Фильрозе.

Авторы выражают искреннюю признательность всем лицам, оказавшим помощь в выполнении этой работы.

Глава I

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СОСНЫ В ГОРНЫХ СИСТЕМАХ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

Горные леса занимают более 450 млн.га, что составляет 36% покрытой лесом площади нашей страны [Синицын, 1979]. Среди хвойных пород в горных лесах I группы преобладают кедр и лиственница, каждая из этих пород занимает по 16,5% покрытой лесом площади. Вместе с тем в таких лесах значителен удельный вес сосняков – 10,1%. Среди хвойных пород лесов II группы преобладают лиственница и сосна, занимающие соответственно 24,7 и 20,3% покрытой лесом площади. В горных лесах III группы среди хвойных пород преобладают лиственница и ель – соответственно 51,2 и 8,8% покрытой лесом площади. Насаждения с преобладанием кедра составляют 6,4, а сосны – 4,8%.

Распространение сосны тесно связано с особенностями природных условий той или иной горной системы и характером ее вертикальной поясности. Наиболее низкие местоположения занимает сосна в Хибинских горах. Здесь сосновые леса произрастают преимущественно на внешних склонах гор и их подножиях, образуя нижний лесной пояс. Внутри горных массивов сосновые леса поднимаются до высоты 150–200 м над ур.м. Редко верхняя граница сосновых лесов располагается выше уровня 350–370 м над ур.м. [Орлова, 1972; Чертовской, 1979].

На Карпатах леса из сосны обыкновенной сохранились на небольшой площади и приурочены в основном к восточной части северного макросклона на высотах 700–800 м над ур.м. на фрагментарных горно-подзолистых почвах. В этих лесорастительных условиях диаметр и высота сосны обыкновенной в 2 раза превышают диаметр и высоту ели [Пастернак, 1979].

На Северном Кавказе сосновые леса поднимаются значительно выше и приурочены к южным склонам в поясе темнохвойных лесов (1000–2000 м). Согласно данным И.П. Коваля [1979], сосна здесь занимает 1676,5 тыс. га, что составляет 6,4% от площади лесонасаждений Северного Кавказа. Около 80% хвойных лесов, в том числе и сосновые, занимают крутые и очень крутые склоны.

На Северо-Западном Кавказе [Зонн, 1950 б] под сосновыми древостоями высокогорной части на границе леса почвы слабо развиты и корни распространяются по трещинам в горной породе. На высоких террасах (абс. высота 1450 м), сложенных галечниковым аллювием, под сосновыми лесами описаны горно-подзолистые маломощные почвы. Исследованиями, проведенными на северном макросклоне Большого Кавказа [Горчарук и др., 1978], установлено, что верхнюю границу леса (абс. высота 1745 м) образуют сосняки вейниковые на кислых бурых горно-лесных оподзоленных почвах.

Широкий ареал имеют сосновые леса в Закавказье. Нижняя граница соснового леса проходит здесь на высоте около 200 м (в Западной Грузии), а верхние пределы граничат с субальпийскими лугами на высоте 2200–2300 м над ур.м. [Гигаури, 1979]. Наиболее крупный массив сосняков расположен в юго-западной части (Боржомский и Ахалцихский районы), в остальных же частях Закавказья сосновые леса представлены островами или отдельными куртинами. По северным склонам Главного Кавказского хребта в восточной части, а также в замкнутых ущельях Закавказья сосна и береза образуют самостоятельный пояс. В зоне темнохвойных лесов сосна занимает более освещенные крутые склоны южных экспозиций, а также образует производные сообщества в местах пожаров и сплошных вырубок. Наиболее распространенные типы сосняков в Закавказье: сухой IV класса бонитета; коротконожковый III класса бонитета; зеленотравный II, редко III класса бонитета; зеленомошниковый I класса бонитета; брусничниковый III класса бонитета; черничниковый III класса бонитета и др.

Разнообразие типов горных сосновых лесов в значительной степени определяется конкретными природными условиями тех или иных районов Закавказья. Например, в сосновых лесах Тушетского хребта установлены [Махатадзе, Сванидзе, 1968а] следующие группы типов леса: сухие боры, сосняки-черничники, сосняки вейниково-черничниковые, сосняки зеленотравные, сосняки-брусничники, сосняки кустарниковые и субальпийские березово-сосновые леса. Каждому из них соответствуют определенные почвенные условия.

Сухие боры развиты на примитивно-скальных скелетных светло-бурых лесных почвах. Почвы маломощные, глубиной до 12 см, реакция слабокислая (pH 6,4), содержание гумуса равно 8,5%. Эта группа приурочена к склонам большой крутизны (25–30°) южной экспозиции.

Сосняки-черничники приурочены также к слаборазвитым маломощным светло-бурым лесным почвам. Мощность почв 30 см, содержание гумуса 13,5–7,9%, pH 5,5, содержание скелета до 60%, сумма поглощенных оснований 2,6 мг-экв. Часто эти почвы обнаруживают признаки оподзоливания.

Сосняки вейниково-черничниковые по почвенным условиям близки к соснякам-черничникам.

Сосняки зеленотравные встречаются на слабоскелетных мощных светлобурых почвах горных склонов северо-западной экспозиции. Содержание гумуса 10–11%, pH 6,8–7,8, глинистый механический состав, скелета 10–15%. Бонитет древостоев на таких почвах II–III.

Под сосняками-брусничниками развиты примитивные и скелетные светло-бурые почвы легкого механического состава. Бонитет древостоев III–IV.

Кустарниковые сосняки (сосняк азалиевый, сосняк липовый и сосняк смешанно-кустарниковый) III бонитета развиты на пролювиально-аллювиальных почвах, сформированных на возвышенных приречных террасах. Мощность почв около 60 см.

Субальпийские березово-сосновые леса приурочены к двум типам почв: сухим торфяно-скелетным (березово-сосновые леса), задернелым и скелетным (сосняки разнотравные).

Изучение сосновых лесов в бассейне р. Ингури [Махатадзе, Сванидзе,

1968б] показало, что в восточной половине бассейна Ингури, где осадков выпадает примерно в 2 раза меньше, чем в западной, доминируют сосновые и березовые леса. Например, в Ипарском лесничестве под сосновыми и березовыми лесами находится около 70% (сосны 32% и березы 38%) лесопокрытой площади. Помимо климата, на характер растительности накладывают отпечаток геологическое строение и горные породы. В восточной части бассейна, где широко представлены известняки и, выше, глинистые сланцы, создающие сильно иссушающий дренаж, преобладают сосновые и дубово-сосновые леса.

В составе горных лесов Западной Сибири [Крылов, 1979] сосна принимает небольшое участие и приурочена к низкогорному поясу (300–500 м над ур.м.). На Алтае на долю сосняков в составе лесных формаций приходится лишь 11,4% от лесопокрытой площади, т.е. она занимает четвертое место по преобладанию после кедра, лиственницы и пихты. На Салаирском кряже сосновые леса островами встречаются в основном на восточном склоне и имеют высокую производительность (I–Ia классы бонитетов).

В Средней Сибири и Забайкалье сосновые леса занимают 33 882,7 тыс. га, что составляет 16% лесопокрытой площади [Побединский, 1965]. По запасу древесины удельный вес сосняков составляет 21,5% от общего запаса. Площадь сосновых лесов составляет здесь 33,3% от площади всех сосновых лесов РСФСР. Запас древесины сосновых лесов рассматриваемого района равен 40–65% от общего запаса сосновой древесины в республике. Северная граница распространения сосны достигает 70° с.ш.

В Восточной Сибири сосна обычно поднимается до высоты 700–900 м, изредка достигает 1000–1200 м.

Одним из ведущих факторов распространения сосны в Сибири является тепловой режим почв. В районах многолетней мерзлоты, где почва оттаивает летом лишь на небольшую глубину, сосна не растет. Поэтому в отличие от Европейской части СССР сосна в Сибири не доходит до границы леса с тундрой.

На Енисейском кряже сосновые леса занимают преимущественно вершины хребтов и сопок и крутые их склоны. Наиболее распространенным типом леса на этой территории является сосняк брусничный IV класса бонитета с запасом древесины в спелом возрасте 130–150 $м^3$/га. Сосняки лишайниково-брусничные встречаются небольшими участками на нижних и средних частях склонов крутизной 18–20°, бонитет V, запас 70–90 $м^3$/га. Сосняки каменисто-лишайниковые встречаются редко и приурочены к крутым склонам с каменистыми россыпями, бонитет V–Va, запас 70–90 $м^3$/га. Сосняк-черничник занимает здесь пологие склоны и невысокие местные водоразделы, бонитет IV–V, запас 160–220 $м^3$/га.

Почвы Енисейского кряжа под сосновыми лесами представлены [Горбачев, 1967] горными собственно подзолистыми маломощными сильнощебнистыми (в сосняках-черничниках и лишайниково-брусничных), дерново-подзолистыми (в сосняках разнотравно-брусничных), сформированными на элювии различных горных почвообразующих пород, а также горными дерновыми лесными кислыми и нейтральными. К первым, развитым на элювии песчаников, приурочены сосняки-черничники, а к нейтральным (на карбонатных глинистых сланцах) – сосняки разнотравно-осочковые.

На Восточном Саяне сосновые леса тянутся полосой по северным макросклонам Передового хребта. Верхняя граница распространения сосны в Восточном Саяне составляет 1000 м над ур.м. [Крылов, 1979]. Сосняки-брусничники встречаются в основном в предгорной части, где они занимают вершины и склоны песчаных гряд и бугров. Запасы спелых древостоев 300–400 м^3/га. Почвы слабоподзолистые, дерново-подзолистые супесчаные на песчано-галечниковых наносах. Сосняки-черничники занимают теневые склоны, почвы подзолистые суглинистые, запас древесины 350–400 м^3/га. Сосняки мшистые занимают пологие склоны, бонитет III–IV, запас 400 м^3/га. Сосняк разнотравный занимает крутые и средней крутизны склоны с маломощными слабоподзолистыми суглинистыми почвами, бонитет II, реже – III, запас 350–400 м^3/га.

Сосновые леса в Забайкалье представлены сосняками разнотравно-брусничными, сосняками остепненными (сухие), сосняками каменисто-лишайниковыми, сосняками рододендроново-брусничными и сосняками ольховниково-брусничными.

Наиболее подробно изучены почвенные условия произрастания сосняков в южной тайге Западного Забайкалья. Здесь, согласно данным М.М. Михайленко [1967], сосняки каменисто-лишайниковые и брусничные приурочены к горным примитивно-аккумулятивным почвам, сосняки остепненные (сухие) – к горным дерновым лесным обыкновенным, а сосняки разнотравно-брусничные – к горным дерновым лесным оподзоленным почвам. Сосняки рододендроново-разнотравно-брусничные и рододендроново-брусничные, часто с участием в древостое лиственницы, распространены на горных дерново-подзолистых иллювиально-железистых почвах. Почвообразующими породами для всех этих почв являются каменисто-дресвяные продукты гранитов, сиенитов и диоритов. Наиболее высокие запасы древесины (200–300 м^3/га) в спелом возрасте наблюдаются в сосняках рододендроново-брусничных, произрастающих на горных дерново-подзолистых иллювиально- железистых почвах, отличающихся лучшей влагообеспеченностью и дренированностью подстилающих дресвяно-каменистых пород, а наименьшие (100–120 м^3/га) – в сосняках каменисто-лишайниковых, характеризующихся маломощностью почвенного профиля.

Сосновые леса Прибайкалья представлены сосняками разнотравными, разнотравно-брусничными, ольховниково-брусничными и остепненными. Производительность их выше, чем в горно-степном районе. Здесь чаще встречаются древостой III и даже II класса бонитета. Запас древесины в спелом возрасте от 250–300 до 500 м^3/га.

Бо́льшую часть горно-лесного Урала [Колесников, 1969а, б; 1979] занимает лесная (таежная) зона, в составе которой выделяется подзона северной тайги, где леса представлены средне- и низкополнотными древостоями, преимущественно IV–V класса бонитета. Покрытая лесом площадь здесь составляет около 83–86%. Основными лесообразующими породами на западном макросклоне являются ель и пихта, а в долинах горных рек на песчаных отложениях и выходах известняков – сосна. На восточном макросклоне, особенно в предгорьях, господствует сосна, меньшую площадь занимают кедр, ель и пихта, часто образующие смешанные темнохвойные насаждения.

Сосновые леса в северотаежной подзоне горного района занимают наиболее низкие по абсолютным отметкам положения (нижние лесные субпояса) по сравнению с ельниками. В кустарниковом покрове сосновых лесов широко распространены болотные растения (багульник, голубика и черника), поэтому здесь представлены сосняки бруснично-багульниковые, багульниково-голубичные, багульниково-черничные и зеленомошно-ягодниковые [Игошина, 1964]. В предгорьях восточного склона Урала в пределах северной тайги наиболее распространенными ассоциациями сосновых лесов являются сосняки-черничники и сосняки каменистые [Горчаковский, 1956].

Сосняки брусничные [Лесорастительные условия..., 1973] встречаются небольшими площадями, расположенными на плоских выпуклых участках, они бывают чистые или с примесью лиственницы, бонитет V–IV, полнота 0,5–0,6, запас древесины 150–180 м^3/га. Подлесок редкий, состоит из рябины, шиповника, иногда можжевельника. Напочвенный покров зеленомошно-брусничниковый с мелкотравьем, из мхов преобладает мох Шребера, встречаются водяника, голубика.

Сосняки бруснично-багульниковые занимают широкие приподнятые участки, в составе древостоя, кроме сосны, примесь лиственницы, ели и березы, бонитет V–IV, полнота 0,7–0,8, запас древесины 240 м^3/га. Подлесок редкий, состоит из шиповника, ивы козьей, можжевельника, ольхи кустарниковой. Напочвенный покров багульниково-брусничный, встречается голубика, сплошной ковер из мха, преобладает мох Шребера, в микропонижениях – пятна кукушкина льна и сфагнумов.

Сосняки зеленомошно-ягодниковые широко распространены крупными участками, занимают средние части пологих склонов. Древостои чистые сосновые или с примесью лиственницы, березы, иногда ели и кедра; бонитет III–IV, полнота 0,7–0,8, запас древесины 350 м^3/га. Подлесок средней густоты состоит из рябины, можжевельника, ивы козьей, шиповника, жимолости. Напочвенный покров зеленомошно-ягодниковый, состоящий из брусники, черники и, рассеянно, водяники, голубики, багульника; моховой покров сплошной из мха Шребера.

Для лесной подзоны средней тайги характерны леса полнотой 0,5–0,8 и до 1,0, производительностью III и IV классов бонитета. Лесистость подзоны превышает 75%. На западном макросклоне преобладают темнохвойные пихтово-еловые и производные от них леса с березой и осиной. Среднетаежные леса восточного макросклона представлены преимущественно сосновыми, березово-сосновыми и березовыми лесами. Для сосновых лесов характерны брусничные, зеленомошно-ягодниковые и крупнотравные типы лесов.

В подзоне средней тайги сосняки брусничные приурочены к водораздельным участкам и прилежащим к ним склонам, бонитет III–IV, полнота 0,6–0,9, запасы древесины 350 м^3/га. Подлесок редкий из рябины, шиповника, жимолости. Напочвенный покров зеленомошно-брусничный с мелкотравьем, из мхов преобладает мох Шребера. Сосняки зеленомошно-ягодниковые тоже широко распространены в этой подзоне. Приурочены они к средним и нижним частям склонов, в древостое преобладает сосна, иногда встречается примесь березы и, единично, ели, бонитет III, запас древесины 400 м^3/га. Подрост редкий – из рябины, шиповника, жимолости, можже-

вельника. Напочвенный покров зеленомошно-бруснично-черничный, обильны мелкотравье, вейники, мох Шребера.

Сосняки крупнотравные средней тайги распространены небольшими площадями у подножия склонов и на шлейфах. Древостой смешанный, преобладает сосна, в примеси береза, осина, ель, бонитет III, полнота 0,6–0,7, запас древесины 350 $м^3$/га. Подлесок редкий – из шиповника, рябины, ивы козьей, жимолости. Напочвенный покров состоит из борца северного, какалии, василистника, крупных папоротников. Мхи небольшими пятнами; встречаются преимущественно мох трехгранный и дикранум.

В подзоне южнотаежных лесов состав древостоев более разнообразный и обычно смешанный. В таких лесах довольно богатый травяной покров при значительном участии папоротников и умеренно развитый моховой покров. В подзоне южнотаежных лесов западного макросклона преобладают темнохвойные пихтово-еловые и пихтовые, а также производные от них хвойно-березовые и березовые леса, частично с липой. На восточном макросклоне господствуют сосновые и березовые леса. В составе сосновых лесов преобладают ягодниковые, орляковые, травяные, хвощево-сфагновые.

На восточном макросклоне Горного Урала южная тайга на границе Свердловской и Челябинской областей сменяется однообразной по составу лесов подзоной предлесостепных горных сосновых и березовых лесов. Доля покрытой лесом площади Южного Урала составляет от 60% в Челябинской области и до 50% в Башкирии. В предлесостепных и лесостепных предгорьях она составляет 35–25% и менее.

Леса Южного Урала в пределах Челябинской области, согласно представлениям П.Л. Горчаковского [1968], К.И. Игошиной [1964], Б.П. Колесникова [1969], Е.М. Фильрозе [1958, 1967], сосредоточены в горных и предгорных частях (72% всех лесов области) и представлены в основном березой (51% от всей покрытой лесом площади государственного лесного фонда) и сосной (22%). Большие площади (около 10%) заняты елью и пихтой сибирской, осиной (10%) и липой (3%).

Распределение лесов зависит от поясности, экспозиции склонов и геологического строения местности. Согласно схеме поясности Южного Урала, составленной П.Л. Горчаковским [1968], горная лесостепь с высоты около 200–300 м над ур.м. сменяется горными сосновыми и производными от них березовыми лесами. Сосновые леса по восточному макросклону Урала поднимаются до высоты 700–800 м над ур.м. и выше сменяются горными пихтово-еловыми лесами. Сосновые леса Южного Урала довольно разнообразны. Е.И. Фильрозе [1958] на примере Ильменского заповедника выделяет следующие типы сосняков: каменистый, остепненный, кизильниковый, бруснично-злаковый, ягодниковый, разнотравно-липняковый, разнотравный и широкотравный. Ю.Д. Абатуров [1966] наиболее характерными типами сосняков в подзоне сосново-березовых лесов горно-лесной зоны считает сосняк-брусничник (сухой тип лесорастительных условий), сосняк ягодниковый (периодически сухой тип лесорастительных условий) и сосняк разнотравно-орляковый (свежий тип лесорастительных условий). Для восточных предгорий Урала наиболее характерны, по данным П.Л. Горчаковского [1968], следующие типы сосняков: черничники (нижние и средние части склонов), брусничники (вершины увалов и холмов, а также склоны крутизной до 15–20°), орляковые (равнинные возвышен-

ные участки), вейниково-разнотравные (ровные места, пологие и покатые склоны), остепненные (на контакте с горной лесостепью, крутые склоны), чернично-зеленомошные (понижения между холмами), долгомошники (глубокие замкнутые заболачивающиеся понижения) и сфагновые (сильно заболоченные бессточные котловины).

Итак, в подзонах южной тайги и сосново-березовых лесов наиболее широко распространены сосняки (брусничные, ягодниковые, разнотравные и зеленомошно-ягодниковые).

Сосняки брусничные занимают вершины и верхние половины склонов. Древостой с примесью березы, иногда лиственницы, бонитет III, полнота 0,6–0,8, запас древесины 270–350 м^3/га, в подлеске встречаются обильно – ракитник, редко – можжевельник, рябина, шиповник. В напочвенном покрове преобладает брусника, много вейника, встречаются костяника, земляника, мелкое разнотравье, редкие пятна зеленых мхов.

Сосняки ягодниковые встречаются на вершинах спокойных возвышенностей, на пологих склонах; в древостое примесь лиственницы и березы, бонитет II–III, запасы 300–380 м^3/га. Подлесок редкий, состоит из шиповника, рябины, можжевельника, ракитника, ивы серой. В напочвенном покрове преобладают брусника, черника, вейник, лапчатка, костяника, земляника, розга золотая, ястребинка, подмаренник, редкими куртинами зеленые мхи.

Сосняки разнотравные приурочены к ровным приподнятым участкам водоразделов, пологим склонам. В древостое примесь березы и лиственницы, бонитет II–III, полнота 0,6–0,7, запас древесины 300 м^3/га. Подлесок групповой, состоит из шиповника, рябины, жимолости, волчьего лыка, малины, можжевельника. Напочвенный покров густой, пестрый по составу: вейник, сныть, герань, розга, володушка, чина весенняя, костяника, подмаренник, лапчатка, медуница, буквица, орляк, перловник, майник.

Сосняки зеленомошно-ягодниковые занимают придолинные склоны. Древостой сосновый с примесью ели, единично береза, пихта, лиственница, бонитет III, полнота 0,6–0,8, запас древесины до 300 м^3/га. Подлесок распространен неравномерно, состоит из можжевельника, ракитника, рябины, малины, жимолости, шиповника. В напочвенном покрове преобладают брусника, черника, костяника, зеленые мхи, плаун, зимолюбка, кровохлебка, щитовник Линнея; покрытие 0,7.

Подводя итог краткому обзору данных о распространении сосны в горных системах нашей страны, следует отметить, что она встречается в широком диапазоне абсолютных высот местности. Особенно высоко (около 2300 м над ур.м.) сосна поднимается в горах Закавказья и на Восточном Саяне (около 1000 м). В Западной Сибири (Алтай, Салаирский кряж) сосновые леса приурочены к низкогорному поясу (300–500 м). Нижний лесной пояс образуют они и в Хибинских горах. На Северном Урале сосновые леса не поднимаются выше 500 м, а на Южном – до 700–800 м над ур.м.

При прочих равных условиях сосна предпочитает более сухие по климатическим условиям местообитания. Например, в Грузии (бассейн р. Ингури) она приурочена к восточной половине бассейна, где осадков выпадает в 2 раза меньше, чем в западной. В Западном Забайкалье по сравнению с Восточным количество осадков на 50–100 мм ниже, и здесь

широкое распространение получает сосна, тогда как в Восточном Забайкалье доминируют лиственничные леса. Сосновые леса на Урале занимают преимущественно восточный макросклон, где вследствие барьерной роли Урала осадков выпадает на 200–300 мм в год меньше, чем в Предуралье или в хребтовой водораздельной части Урала.

Большинство сосновых лесов в горах приурочено к маломощным сильнощебнистым хорошо дренируемым почвам, что обусловило широкое распространение брусничных типов сосняков. Продуктивность их колеблется в больших пределах. Так, спелые древостои сосняков брусничных Енисейского кряжа имеют запасы древесины 130–160 $м^3$/га, в Забайкалье – 200–300, в Восточном Саяне – 300–400, на Северном Урале – 150–190, а на Южном Урале – 270–350 $м^3$/га. В горных условиях сосновые леса отличаются более высокой продуктивность, чем в тех же зональных условиях на прилегающих равнинах. Например, в северной тайге равнинного Зауралья, прилегающего к Северному Уралу, средние запасы спелых сосновых древостоев не превышают 150 $м^3$/га, тогда как в горах – 190 $м^3$/га.

Почвы под сосновыми лесами разных ареалов генетически разнообразны: это горно-подзолистые, горные собственно подзолистые, горные дерново-подзолистые (обыкновенные и оподзоленные), горные дерново-подзолистые иллювиально-железистые, горные дерновые лесные (кислые и нейтральные), бурые горно-лесные кислые оподзоленные, горные светлобурые и другие, значительно различающиеся по плодородию. Установление особенностей взаимосвязи сосновых лесов с почвами представляется чрезвычайно важной задачей для понимания экологии сосны и повышения продуктивности этой широко распространенной и ценной древесной породы.

Глава II

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И ПОЧВЫ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ УРАЛА

В связи с большой протяженностью Урала с севера на юг и с запада на восток его территория чрезвычайно неоднородна по природным условиям, и в ее пределах на основе биоклиматических показателей и геолого-геоморфологических рубежей выделено несколько подзон (северная, средняя и южная тайга и подзона предлесостепных лесов) и провинций (горная и холмисто-предгорная).

КЛИМАТ

Климатические условия районов распространения сосны на Урале определяются: во-первых, большой его меридиональной протяженностью, а следовательно, различным количеством поступающего солнечного тепла; во-вторых, вертикальной поясностью. Суммарная солнечная радиация колеблется на рассматриваемой территории с севера на юг от 80 до 100 ккал/$см^2$.

В северотаежной подзоне Урала сосна произрастает при отрицательных

Таблица 1

Климатические показатели зоны распространения сосны на Урале

Провинция	Метеопункт	Положение метеопункта			Годовая сумма осадков, мм
		Абс. высота над ур.м.,м	Широта	Долгота	
		Северная тайга			
Горная Холмисто-предгорная восточного склона	Полюдов Камень	529	60° 30′	57° 08′	608
	Верхняя Косьва	317	59° 28′	58° 28′	614
	Бурмантово	128	61° 17′	60° 28′	470
		Средняя тайга			
Горная Холмисто-предгорная восточного склона	Бисер	464	58° 31′	58° 51′	670
	Карпинск	187	59° 45′	60° 00′	491
	Серов	132	59° 36′	60° 32′	393
		Южная тайга			
Горная Холмисто-предгорная восточного склона	Дружинино	345	56° 48′	59° 32′	520
	Уфалей	382	56° 05′	60° 18′	500
	Невьянск	277	57° 30′	60° 15′	475
	Свердловск	284	56° 50′	60° 38′	443
	Сысерть	249	56° 30′	60° 49′	442
		Подзона предлесостепных сосново-березовых лесов			
Горная Холмисто-предгорная восточного склона	Таганай (нижний)	550	55° 20′	59° 54′	805
	Златоуст	457	55° 10′	59° 40′	624
	Бердяуш	378	55° 09′	59° 09′	555
	Ильменский заповедник	305	55° 02′	60° 12′	466
	Аргаяш	254	55° 33′	60° 54′	396

среднегодовых температурах воздуха [Агроклиматический справочник, 1962; Справочник по климату СССР, 1968]. Сумма положительных температур более 10° составляет 1180–1245° (табл. 1). Продолжительность безморозного периода не превышает 90 дней. Характерной особенностью являются отрицательные среднегодовые температуры поверхности почвы. Среднегодовое количество осадков составляет 470–614 мм. Больше их выпадает в горной полосе и меньше в холмистых предгорьях восточного макросклона Урала. Самый влажный месяц – июль. В зимние месяцы выпадает лишь 20% годовой суммы осадков, мощность снегового покрова достигает ко 2 марта около 60 см (от 90 до 40 см). Почва к этому времени промерзает до глубины 1,2–1,6 м. Почти полное оттаивание почвы отмечается в конце мая.

Среднетаежная подзона характеризуется более высокими по сравнению с северной тайгой среднегодовыми температурами воздуха и поверхности

Средняя температура воздуха, °С			Сумма положительных температур > 10°, °С	Средняя продолжительность безморозного периода, дни	Среднегодовая температура поверхности почвы, °С
годовая	в январе	в июле			
			Северная тайга		
−1,4	−16,6	15,0	1215	181	−1
−2,0	−18,4	14,8	1180	75	−2
−2,0	−19,8	15,5	1245	67	−2
			Средняя тайга		
−1,0	−17,2	15,4	1332	87	−1
−0,2	−16,4	16,1	1461	96	0
0,0	−16,9	16,7	1663	93	0
			Южная тайга		
0,2	−16,6	16,0	1548	91	+1
0,3	−16,1	16,1	1569	94	+1
0,7	−15,7	16,7	1644	107	
0,9	−16,0	17,2	1788	105	+2
0,9	−15,9	17,0	1754	102	+1
			Подзона предлесостепных сосново-березовых лесов		
0,8	−14,1	15,5	Не опр.	Не опр.	Не опр.
0,7	−15,4	16,4	”	”	”
0,7	−16,0	17,6	”	”	”
1,5	−15,0	17,4	”	”	”
1,6	−15,4	17,8	”	”	”

почвы. Возрастает здесь и сумма положительных температур более 10° – 1332–1663°. Более низкие их значения соответствуют наиболее высоким по абсолютным отметкам участкам местности. Продолжительность безморозного периода составляет здесь 87–96 дней.

Южнотаежная подзона характеризуется положительными значениями среднегодовых температур воздуха, не превышающими +1,0 +2°. Среднегодовые температуры поверхности почвы колеблются от 0 до +2°. В отличие от северной и средней тайги температура поверхности почвы имеет положительные значения в течение не 5, а 6 месяцев (май–октябрь). Июльские температуры поверхности почвы составляют 19–20° в разных пунктах, тогда как в северной тайге – от 15 до 19°. Сумма положительных температур более 10° составляет 1506–1788°. Продолжительность безморозного периода 91–107 дней. Небольшое количество осадков, выпадающих зимой, обусловливает сравнительно небольшую мощность снежного покро-

ва. Накапливается снег более или менее равномерно. Наибольшая мощность его отмечается в первых числах марта и достигает 42 см. Почва к этому времени промерзает до глубины 80 см, иногда глубже. В пространственном распространении высота снежного покрова различна, что определяется рельефом местности, растительностью, силой и направлением ветра. Таяние снега начинается в марте, а полностью он сходит в конце апреля.

Климатические показатели в пределах этой подзоны претерпевают значительные изменения с запада на восток по мере понижения высоты местности. Так, наибольшее количество осадков выпадает в горах – 550 мм, а в холмистых предгорьях восточного склона количество их составляет 442–475 мм. Однако барьерная роль Урала на территории южной тайги менее значительна, чем в северной и средней тайге, вследствие снижения высоты гор. Наименьшие среднегодовые температуры воздуха, суммы положительных температур более 10° и продолжительность безморозного периода наблюдаются в горной части и увеличиваются к востоку.

Подзона предлесостепных сосново-березовых лесов характеризуется дальнейшим повышением температуры воздуха, которая здесь составляет, по среднегодовым данным, 1,5–1,6°. Особенно возрастают летние температуры воздуха. Количество осадков колеблется от 805 до 396 мм в год, т. е. на Южном Урале более контрастны различия в количестве осадков между горной хребтовой полосой и холмистыми предгорьями восточного макросклона, граничащими с равнинными степями. Продолжительность безморозного периода колеблется от 100 до 120 дней, а сумма температур воздуха с устойчивой среднесуточной температурой выше 10° – от 1600–1800 в водораздельной хребтовой полосе до 1800–2800° в холмистых предгорьях. Недостаточное количество метеостанций на территории Урала, особенно в северных районах, не позволяет дать полное представление о климатической поясности в горах. Тем не менее, исходя из проведенных расчетов [Шкляев, 1964], средние градиенты увеличения количества осадков с высотой изменяются от 70 мм на каждые 100 м на севере до 60 мм на 100 м на юге Предуралья, а в Зауралье – в среднем 50 мм на 100 м. Распределение осадков значительно осложняется рельефом местности, их количество зависит от расположения хребтов к направлению основных влагонесущих потоков. По мере поднятия в горы возрастает высота снежного покрова в среднем на 15–17 см на каждые 100 м [Цветаев, 1960]. Температуры воздуха в теплый период с высотой местности понижаются на 0,5° на каждые 100 м.

ГЕОЛОГИЯ И РЕЛЬЕФ

Для характеристики геологического строения и рельефа Урала использованы данные, обобщенные в монографических работах [Проблемы физической географии Урала, 1966; Урал и Приуралье, 1968; Геология СССР, 1969]. По орографическим и геоморфологическим признакам рассматриваемая территория подразделяется на три части: Северный, Средний и Южный Урал.

На Северном Урале горная полоса приурочена к суженному участку Центрально-Уральского антиклинория и представлена тремя плосковершинными хребтами мериодионального направления. Центральный водо-

раздельный хребет имеет среднюю высоту 700–750 м, наибольшие вершины его превышают 1000 м (Чистоп, Денежкин камень, Косьвинский Камень). Центрально-Уральский антиклинорий сложен сильно дисцлоцированными и метаморфическими породами. Преобладают кварциты, слюдистые сланцы, гнейсы и граниты. В восточной части протягивается полоса габбро-перидотитовых интрузий. Рельеф среднегорный, сильно расчлененный. Амплитуда высот достигает 1000 м и более.

На Среднем Урале ось Центрально-Уральского антиклинория максимально опущена, и он орографически слабо выражен. На центральном водоразделе Среднего Урала выделяются низко- и среднегорная части. Для северной среднегорной части характерны абсолютные высоты возвышенностей 400–600 м, но довольно часто они бывают и более значительными. Возвышенности имеют характер увалов со склонами крутизной 6–12°. В южной, низкогорной части возвышенности с туповершинными сглаженными денудацией контурами и редкими одиночными останцовыми скальными поднятиями имеют среднюю абсолютную высоту 300–500 м. На водоразделах преобладают плосковершинные возвышенности с длинными пологими и покатыми склонами крутизной 3–15° и на придолинных участках – до 30°. Центральная хребтово-увалистая часть Среднего урала сложена метаморфическими породами, представленными главным образом сланцами (глинистыми, слюдистыми, хлоритовыми) с включением кварцевых жил, плотных окремнелых известняков и массивов ультраосновных интрузивных пород (пироксениты, амфиболиты, дуниты и др.).

Восточный макросклон Среднего Урала сложен в основном изверженными и, частично, метаморфическими породами. Особенно широко распространены граниты. Рельеф здесь имеет черты грядово-холмистого ландшафта, свойственного низкогорьям Урала. Гряды с выпуклыми вершинами и довольно крутыми склонами достигают высоты 450–300 м над ур. м. Относительное превышение гряд над лощинообразными депрессиями составляет 100–150 м.

Южный Урал разделяется на две части: северную гористую и южную платообразную. Гористая часть представлена Центрально-Уральским и Башкирским антиклинориями. Они сложены кварцитами, песчаниками, конгломератами, амфиболитами и слюдистыми сланцами. Рельеф грядово-увалистый, а на юге холмисто-равнинный. Поверхность сильно расчленена речными долинами и имеет абсолютную высоту от 300 до 700 м. Восточные склоны Южного Урала в структурном отношении представляют собой магнитогорский зеленокаменный синклинорий, сложенный осадочными и вулканогенными породами. По характеру рельефа территория делится на три части – западную, центральную и восточную. В западной части рельеф грядово-холмистый, здесь поднимаются наиболее высокие в пределах восточного склона Южного Урала хребты Ирендык и Крыкты-тау, достигающие высоты 987 и 1114 м. В центральной части рельеф плоскоравнинный, где поднимаются денудационные останцы. Для восточной части характерен холмистый рельеф. Положительные формы рельефа приурочены обычно к наиболее устойчивым против разрушения вулканогенным породам. Абсолютная высота поверхности здесь не превышает 350–400 м.

ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ПОРОДЫ

В системе факторов почвообразования большая роль отводится почвообразующим породам. Это и понятно, так как на минеральную массу почвы приходится около 90%. Особенно велико влияние почвообразующих пород на физико-химические свойства почв в горных местностях. Различие в химическом, минералогическом составе и физических свойствах элювия некоторых горных пород бывает настолько значительным, что формирующиеся на них почвы, расположенные даже в непосредственной близости друг от друга, имеют различный габитус и свойства.

Сложность геологического строения Урала и большое разнообразие горных пород определили неоднородность и почвообразующих пород. Они чрезвычайно разнообразны по химическому составу и представлены кислыми, основными и ультраосновными породами.

Характерной особенностью химического состава группы ультраосновных пород (дунит, перидотит, пироксенит) является низкое содержание (около 40%) кремнекислоты (табл. 2). Эти породы содержат большое количество магния (в дуните и перидотите его больше, чем SiO_2) и кальция при незначительном содержании щелочей. Железо в них преобладает над алюминием, а магний – над кальцием. В основных породах в отличие от ультраосновных алюминий превалирует над железом, а кальций – над магнием, увеличивается роль щелочей в их составе. Отмеченное различие еще более ярко выражено в кислых породах (гарнодиорит). Кроме того, для них характерно высокое содержание SiO_2. Особенности сравниваемых пород, в частности содержание SiO_2, как будет видно ниже, наследуются формирующимися на них почвами.

Наибольшее распространение на Среднем Урале (особенно на территории средней тайги) имеют хлоритовые и серицитовые сланцы. Они широко представлены в качестве почвообразующих пород в холмистых предгорьях восточного склона, отличаются между собой в основном по содержанию SiO_2 и соотношению между кальцием и магнием. Алюминий является в них вторым по преобладанию элементом, и количество его в 3–5 раз выше, чем железа. На значительной территории восточные предгорья Северного и северной части Среднего Урала сложены известняками, элювий которых служит почвообразующими породами.

В южной части Среднего и северной части Южного Урала широко распространены также интрузивные массивы ультраосновных пород (представленные змеевиками и серпентинитами), которые расположены цепочкой вдоль восточного склона Уральского хребта. Эти породы близки по химическому составу к дунитам и перидотитам Северного Урала. В них кремниевая кислота и окись магния содержатся почти в равном количестве и составляют в сумме около 80%. Содержание железа в этих породах высокое, тогда как количество $CaO + Na_2O + K_2O$ не превышает 1–2%. Среди интрузивных пород на рассматриваемой территории широко распространены граниты и гранодиориты (Сысертский, Верх-Исетский и Шарташский гранитные массивы). Эти породы содержат около 70% SiO_2 и характеризуются незначительным содержанием железа и щелочноземельных оснований при довольно высоком количестве щелочей, особенно калия.

Элювий и элювио-делювий рассматриваемых горных пород служат

Таблица 2

Химический состав горных пород Урала,% на прокаленную навеску [по: Струве, 1940]

Порода, место взятия образца	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3+FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
Змеевик (Сев. Урал, Вагран)	41,50	0,26	7,82	36,81	0,39	0,03	
Змеевик (Ср. Урал, Невьянск)	41,44	0,92	4,04	40,33	0,21	Нет	
Змеевик (Юж. Урал, Уфалей)	38,47	4,16	7,93	36,94	Нет	0,50	
Серпентин (Красноуральск)	41,29	1,98	1,75	39,63	0	0,05	0,02
Дунит (Денежкин Камень)	38,97	0,92	13,32	44,01	Следы	Нет	
Перидотит (Сев. Урал, Вагран)	38,18	0,26	8,76	42,50	1,64	0,13	
Пироксенит (Красноуральск)	42,12	3,40	10,64	24,59	13,39	0,12	
Габбро (Сев. Урал, Вагран)	47,94	13,23	7,95	11,72	13,45	0,40	0,48
Порфирит (Бурмантово)	45,36	16,04	11,18	6,97	12,03	2,27	1,60
Амфиболит (Денежкин Камень)	58,58	16,95	8,16	4,09	9,16	2,39	0,15
Сланец кварцево-серицитовый (Сев. Урал)	54,76	21,28	8,08	3,61	3,15	2,85	2,21
Сланец серицитовый (Нижний Тагил)	57,24	20,56	4,95	1,98	1,54	0,78	7,64
Сланец хлоритовый (Ср. Урал)	48,60	18,60	4,16	3,55	7,55	4,37	Следы
Гранодиорит (Денежкин Камень)	66,76	16,19	4,00	0,99	3,68	4,13	2,35
Гранит (Ср. Урал)	71,46	14,01	3,04	0,66	1,47	3,54	4,62
Гранит (Юж. Урал)	74,32	13,96	1,89	0,42	0,89	4,26	4,16
Гранито-гнейс (Юж. Урал)	70,16	14,87	5,14	2,14	1,14	2,22	3,42

почвообразующими породами для горной полосы Урала и его холмистых предгорий. Мощность элювиальных и элювиально-делювиальных отложений, на которых здесь формируются почвы, зависит от условий залегания по рельефу. По мере продвижения вниз по склону мощность плаща обломочного материала увеличивается, достигая максимума у подножий. В процессе формирования элювия химический состав материнских горных пород изменяется. Н.А. Ногина [1948] указывает, например, что мелкозернистый элювий змеевиков Урала по сравнению с плотной породой обогащается кремнекислотой и полуторными окислами и теряет магний, а в серицитовых сланцах по мере выветривания увеличивается содержание кремниевой кислоты, железа и магния и резко уменьшается количество кальция. Отмеченные особенности изменения химического состава плотной горной поро-

Таблица 3

Валовой химический состав змеевика, продуктов его выветривания и почвообразования, % на прокаленную навеску

	Порода	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3+FeO
Южный Урал	Змеевик – порода	38,47	4,16	7,93
	Элювий змеевика	45,23	3,20	6,44
	Горизонт A_1	68,89	12,18	6,05
	Элювий	47,33	3,95	7,95
	Горизонт A_1	74,82	7,37	5,23
	Элювий	46,00	2,73	10,07
	Горизонт A_1	77,01	9,34	2,6
Средний Урал	Змеевик – порода	41,44	0,92	4,05
	Элювий змеевика	43,28	2,56	12,70
	Горизонт A_1	64,14	14,16	5,09
	Элювий	49,00	1,81	14,04
	Горизонт A_1	78,11	5,53	5,64

ды в процессе формирования элювия, как показали появившиеся позднее в литературе [Абатуров, 1966] и полученные нами данные (табл. 3), не всегда имеют место. Несомненно лишь одно, что процесс формирования элювия змеевика всегда сопровождается накоплением SiO_2. В элювии змеевика, так же как в не измененной выветриванием породе, сохраняется преобладание железа над алюминием и кальция над магнием при близкой величине отношения между содержанием этих элементов.

Почвообразование приводит к глубокому преобразованию горной породы. В образцах почв, взятых из горизонта A_1 тех же разрезов, где отобран для анализа элювий, резко (на 20–30%) увеличивается по сравнению с последним содержание SiO_2, в несколько раз возрастает количество Al_2O_3 и CaO. Эти изменения настолько значительны, что в почве по сравнению с почвообразующей породой меняется отношение Al_2O_3 : Fe_2O_3 в пользу алюминия. Магний, хотя и преобладает над кальцием, но не в 40–190, а лишь в 2–9 раз. Эти изменения, по-видимому, в значительной степени обусловлены растительностью, которая в силу своей избирательной способности вовлекает в биологический круговорот больше кальция, чем магния, а алюминия больше, чем железа. Зольный анализ (табл. 4) хвои сосны (Pinus silvestris), выросшей на почвах, сформированных на элювии змеевика (Южный Урал) на тех же участках, где брались для анализа образцы породы и почв, подтверждает сказанное.

Несомненно, что в формировании химического состава почв, кроме растений, определенную роль играет миграционная способность элементов и комплекса природных условий, определяющих их перераспределение. В процессе формирования почв на змеевиках в бореальной зоне Урала создаются такие условия, при которых происходят вынос железа и магния и накопление алюминия, кальция и кремния.

MgO	CaO	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	$\frac{MgO}{CaO}$	Автор
36,94	Нет	0,5	–	Струве, 1940
43,43	0,39	0,5	110	Фирсова, 1977
6,24	2,76	2,0	2,3	"
38,27	0,38	0,5	110	"
11,03	1,17	1,4	9,0	"
40,33	0,31	0,2	130	Абатуров, 1966
3,34	2,26	4,6	1,0	"
40,33	0,21	0,2	190	Струве, 1940
34,88	0,94	0,2	37	Фирсова, 1977
2,48	3,83	2,7	0,9	"
30,17	0,75	0,1	40	"
6,13	1,13	1,0	5,0	"

Таблица 4

Зольный состав хвои сосны, % на чистую золу

Зольность	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
2,10	14,85	5,03	1,92	28,63	10,33
2,36	11,04	7,14	1,47	23,78	17,33
2,50	13,38	7,41	3,42	24,46	16,46

Таблица 5

Валовой химический состав гранита и продуктов его выветривания и почвообразования, % на прокаленную навеску

Порода	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3+FeO	CaO	MgO	Автор
Гранит – порода	70,58	15,74	2,38	2,26	0,90	Соболев, 1961
Элювий	70,09	15,87	3,64	1,38	2,21	Фирсова, 1977
Горизонт A_1	71,77	14,56	3,49	2,56	2,03	"
Элювий	68,31	16,65	3,89	2,34	1,10	"
Горизонт A_1	67,99	18,02	3,33	2,92	1,69	"
Элювий	70,52	18,65	3,57	2,76	1,10	"
Горизонт A_1	71,36	18,42	4,52	2,77	1,10	"
Элювий	70,37	16,92	2,85	3,09	0,30	"
Горизонт A_1	76,40	15,35	2,11	2,97	0,60	"
Элювий	71,03	13,48	2,80	2,01	0,61	"
Горизонт A_1	72,84	15,17	5,00	1,94	0,98	"

Таблица 6

Механический состав почвообразующих пород Урала

Почвообразующая порода	Глубина, см	Содержание частиц, %; диаметр, мм	
		1–0,25	0,25–0,05
Элювий змеевика	75–80	12,3	42,4
	80–90	15	48
Элювий серпентинита	70–80	16,0	30,3
Элювий амфиболита	70–80	15,6	41,6
	40–50	8,1	58,4
	55–65	2,4	23,2
Элювий известняка	50–60	11,6	22,3
	60–70	4,9	43,1
	85–95	25,0	14,8
Элювий сланцев	60–70	3,0	7,0
	60–65	2,9	9,9
	75–85	4,8	26,0
Элювий сланцев	60–70	12	28
Элювий гранита	35–40	80,3	10,3
	70–80	45,6	28,1
	120–130	26	26
Делювиальные бурые суглинки	75–80	5,3	29,9
	110–120	1	2
	100–105	2	10

Не следует, однако, думать, что отмеченные особенности изменения химизма горных пород в процессе выветривания и почвообразования справедливы для пород любого состава. В этой связи представляет интерес сопоставить рассмотренные выше данные с химическим составом горных пород, контрастно отличающихся от змеевиков. Для сравнительного изучения нами были взяты граниты (Верх-Исетский массив), т. е. кислые по составу породы. Как видно из приведенных данных, характер преобразования ультраосновных и кислых пород резко различен. В граните, его элювии и в гумусовом горизонте почв на этой породе содержание SiO_2 чрезвычайно близко (табл. 5), т. е. процесс выветривания и почвообразования не сопровождается накоплением SiO_2. В элювии гранита содержится несколько больше, чем в породе, алюминия и железа, количество их в почвах одних разрезов несколько возрастает, в других – остается неизменным. В почвах на гранитах и их элювиях по сравнению с неизмененной выветриванием породой не наблюдается выноса кальция и магния.

Обладая различной структурой и минералогическим составом, горные породы образуют различные по механическому составу продукты выветривания, что предопределяет и механический состав почв. Установить четкие различия в механическом составе элювия при формировании его на породах разного химического состава довольно трудно, так как большое значение имеет возраст элювия. Тем не менее сопоставление аналитических дан-

Содержание частиц, %; диаметр, мм					Автор
0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01	
17,0	4,2	4,0	21,1	29,3	Фирсова, 1977
11	3	2	21	25	Ногина, 1968
9,0	4,2	8,4	32,1	44,7	Фирсова, 1977
26,7	5,1	4,1	7,2	16,4	"
26,7	2,1	1,5	3,2	6,8	"
35,5	11,8	12,2	14,6	38,6	"
9,4	1,8	6,0	28,9	36,7	"
6,1	2,1	5,6	34,3	42,0	"
16,4	1,3	6,7	35,6	43,6	"
29,0	8,6	12,3	40,0	60,9	"
28,7	10,5	15,0	33,0	58,5	"
21,9	9,7	10,9	26,6	47,2	"
28	9	8	15	32	Иванова, 1954
4,5	1,1	1,9	1,9	4,9	"
12,0	4,5	7,2	2,6	14,3	"
14	6	10	18	34	Иванова, 1954
26,9	11,8	10,3	15,8	37,9	"
36	9	11	42	62	"
22	8	12	46	66	Ногина, 1948

ных позволяет отметить некоторые особенности механического состава почвообразующих пород в зависимости от их химизма. Мелкозем элювия змеевиков значительно различается по механическому составу (табл. 6), однако для него характерно наличие двух максимумов в содержании фракций. Один соответствует фракции мелкого песка, другой – ила при невысоком содержании пылеватых частиц. На эти особенности механического состава элювия змеевика указывала Е.Н. Иванова [1954]. Известняки и сланцы дают при выветривании преимущественно тяжелый по механическому составу мелкозем. Сланцы в отличие от известняков содержат значительное количество пылеватых частиц (особенно крупной пыли), а в элювии известняков много песка. Амфиболиты и особенно граниты образуют легкий по механическому составу элювий. В мелкоземе амфиболитов преобладают мелкий песок и крупная пыль при незначительном количестве более мелких частиц, тогда как для мелкозема гранита характерно высокое содержание среднего и мелкого песка при незначительном количестве ила.

Из краткого описания природных условий области распространения сосновых лесов на Урале видно, что они очень разнообразны. Достаточно сказать, что индекс сухости в пределах рассматриваемой территории изменяется почти вдвое – от 0,59 в северной тайге до 1,0 в предлесостепной подзоне [Прокаев, 1976]. В таких же пределах колеблется количество вы-

падающих осадков на этой территории. Сосновые леса наиболее широко распространены на восточном макросклоне, где осадков выпадает значительно меньше, т. е. предпочитают более сухие местообитания. На Северном Урале по сравнению с Южным сосна произрастает при отрицательных среднегодовых температурах воздуха и почвы. В летние месяцы создаются благоприятные условия для роста и развития сосны, так как в этот период года выпадает более половины годового количества осадков, а температура воздуха достигает оптимальных значений (средняя температура июля, например, составляет 15° в северной тайге и около 18° в подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов).

Разнообразие горных почвообразующих пород определяет различный вещественный состав и водно-физические свойства формирующихся на Урале почв, что создает различие в условиях почвенного питания сосны, а пересеченный рельеф местности способствует очень сложным взаимоотношениям лесной растительности с почвами. Таким образом, Урал представляет собой чрезвычайно интересный объект для изучения эколого-географических закономерностей распространения лесной растительности и почв и особенностей круговорота веществ в системе растение–почва.

ПОЧВЫ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ

Особенности горных почв Урала в пределах области распространения сосновых лесов наиболее подробно изучены К.П. Богатыревым, А.А. Завалишиным, Е.Н. Ивановой и Н.А. Ногиной.

А.А. Завалишиным [1944] выяснена интересная особенность: в почвах эрозионной платформы наряду с разрушением и выносом илистых фракций из верхних горизонтов под влиянием оподзоливания довольно интенсивно протекают процессы физического выветривания минералов материнской породы, способствующие увеличению их дисперсности. Обусловлено это, по мнению А.А. Завалишина, тем, что почвы подгорных равнин образуются на свежих маловыветрившихся породах, а также континентальностью климата. А.А. Завалишин пишет: «Повышенная глинистость подзолистых почв склонов Урала, а возможно, и Сибири и наличие своеобразных "буроземоподобных" почв на Урале в значительной степени объясняется этим процессом, обусловленным высокой континентальностью климата» (с. 198).

Е.Н. Иванова [1949, 1954] в результате изучения почв среднегорий и высокогорий Среднего Урала выделила горно-лесные кислые неоподзоленные почвы, выяснила провинциальные особенности горно-лесных почв Урала и дала монографическое описание почв южной тайги Зауралья.

Н.А. Ногина [1948] показала, что на Урале преобладают почвы подзолистого типа. Ею были выяснены особенности подзолообразования в зависимости от свойств почвообразующих пород. Однако Н.А. Ногина отмечает, что "вершины увалов и верхние трети склонов заняты сильнощебнистыми слабоподзолистыми и даже совсем неподзоленными почвами" (с. 146) и что до определенного этапа почвы на богатых первичными минералами породах могут иметь "буроземный облик". По ее данным, частицы диаметром менее 0,001 мм из верхних горизонтов горно-лесных почв не подвержены выносу. Кислотность минеральных горизонтов таких почв обусловлена

алюминием, освобождающимся в результате выветривания первичных минералов.

Отмечены еще некоторые особенности почв, формирующихся при близком залегании щебня: такие почвы имеют коричневый тон окраски профиля, нечеткую дифференциацию и хорошую зернистую структуру.

К.П. Богатыревым [1940а] на примере почв Ильменского заповедника (Южный Урал) была показана зависимость свойств почв от химизма горных пород и были выделены три стадии развития фрагментарных (скелетных) почв. При этом он отмечал, что "развитие фрагментарных почв (принципиально) во всех горных и каменистых странах имеет много общего в морфологии и химизме" (с. 164–165). Только на третьей стадии фрагментарные почвы приближаются к окружающим их зональным. Зональными для территории Ильменского заповедника являются почвы подзолистого типа. Однако здесь, по данным Богатырева, большим распространением пользуются слабоподзолистые почвы, а среднеподзолистые встречаются весьма редко. Причины ослабления подзолистого процесса в горно-лесной почве Богатырев видел в недостаточности наблюдавшегося здесь вертикального промачивания и в воздействии минерализованных вод боковых токов на почву. Почвы, не имеющие признаков оподзоливания, описаны Богатыревым под названием дерновых горно-лесных. Эти почвы обнаружены им в северной части Среднего и южной части Северного Урала (59–60° с. ш.) и на Южном Урале (54–55° с. ш.).

В работе К.П. Богатырева и Н.А. Ногиной [1962] обобщены данные о почвенном покрове Урала. Согласно их представлениям, в почвенном покрове Северного Урала преобладают своеобразные неоподзоленные, большей частью кислые почвы, генезис которых не ясен. На продуктах выветривания кислых пород появляются участки горно-подзолистых почв, а под травяными лесами формируются дерновые горно-лесные почвы как переходный подтип от почв субальпийских лугов к кислым неоподзоленным почвам горной тайги. Кислые неоподзоленные почвы создают основной фон и в среднетаежных лесах центральной части горного массива на Среднем Урале. По восточному склону Среднего Урала широко распространены собственно подзолистые почвы, сменяющиеся в южной части горными дерново-подзолистыми. На Южном Урале на вершинах наиболее высоких увалов с маломощной щебнистой толщей элювия формируются дерновые лесные и серые лесные почвы. На шлейфах склонов распространены серые и темно-серые почвы. Горные дерново-лесные Южного Урала как бы замещают собой горные дерново-подзолистые. Формирование дерновых лесных почв, как предполагают Богатырев и Ногина, обусловлено устойчивостью сланцев к процессу оподзоливания, наличием невыветрившихся первичных минералов (в данном случае слюд), а также интенсивностью процессов выветривания и биологического круговорота веществ.

Итак, из обзора предшествующих работ следует, что основной фон в горах создают горно-лесные неоподзоленные почвы. Причина отсутствия в них оподзоливания и процессы, формирующие эти почвы, оставались невыясненными. Для решения вопросов генезиса неоподзоленных почв требовалось большое количество аналитических данных. Между тем до недавнего времени данные о валовом химическом и гранулометрическом составе их были весьма малочисленны. Первые сведения о коллоидно-химическом и

минералогическом составе уральских почв, о качественном составе их гумуса появились лишь в последние годы.

Многолетние исследования, проведенные В.П. Фирсовой с соавторами [Фирсова, 1968а, б; 1969; 1970а, б, в; 1977; 1979; Фирсова, М.И. Дергачева, 1970; 1972; Фирсова и др., 1978; Фирсова, Ржанникова 1966; 1967; 1968; 1972а, б] и охватившие территорию Урала от 60 до 55° с. ш., позволили на основе всесторонних анализов химического состава и сопоставления изученных признаков и свойств уральских почв с почвами других горных систем Союза доказать, что эти почвы развиваются по буроземному типу.

Разделяя мнение С.В. Зонна [1974], мы рассматриваем буроземообразование как первую стадию почвообразования под лесом, и в этом смысле этот процесс не может быть ограничен той или иной зоной. Важно, чтобы в процессе почвообразования создавалось равновесие между выносом и поступлением веществ независимо от того, обеспечивается оно горной породой или является результатом жизнедеятельности растений.

Поскольку рыхлые наносы содержат значительное количество различных конечных продуктов выветривания, они как почвообразующие породы беднее плотных горных пород, содержащих первичные минералы. Поэтому бурые лесные почвы на равнинах встречаются преимущественно под широколиственными лесами, богатый опад которых обеспечивает равновесие между поступлением элементов и их выносом. Там, где происходит постоянное обогащение почв в процессе выветривания первичных минералов, почвы буроземного типа могут формироваться и под хвойными лесами. Естественно, что возможность их образования под такой более бедной зольными элементами растительностью выше в горах, чем на равнине. Климатические условия определяют интенсивность процессов выветривания и разложения органического вещества, а также перераспределение продуктов почвообразования. Несомненно, эти процессы идут на Кавказе более интенсивно, чем на Урале. Однако на Кавказе бо́льшая возможность выноса высвобождающихся в процессе выветривания и почвообразования продуктов вследствие высокого количества выпадающих осадков. На Урале их меньше, а следовательно, меньше степень выноса элементов с осадками из почвенного профиля. Не менее важную роль играет окислительно-восстановительный режим почвообразования. Буроземообразование поддерживается в том случае, если окислительные процессы в почве преобладают над восстановительными, поскольку в противном случае железо, превращаясь в закисные формы, становится подвижным и выносится в нижние горизонты почвенного профиля. Полученные нами данные (в согласии с имеющимися в литературе) показывают, что именно железу, а не кальцию принадлежит главенствующая роль в закреплении гумусовых веществ и других продуктов почвообразования. Это должно быть положено в основу для разделения бурых лесных и дерновых лесных почв.

Сосновые леса на Урале приурочены к хорошо дренируемым участкам местности восточного макросклона, где осадков выпадает меньше, чем на западном склоне или в хребтовой водораздельной части, поэтому возможность формирования бурых горно-лесных почв под такими лесами особенно велика. Поскольку сосновые леса на рассматриваемой территории типологически разнообразны и физико-химические свойства слагающих ее

горных пород неоднородны, то почвы, формирующиеся под такими лесами, несмотря на одинаковую направленность почвообразования, различаются по элементарным почвенным процессам, накладывающимся на буроземный, а следовательно, по химическому составу и физическим свойствам. Сведения о сосновых лесах на Урале в пределах всей таежной зоны до сих пор не обобщались, поэтому представляет интерес рассмотреть их свойства в зависимости от экологических условий формирования. Сравнивались свойства почв по подзонам (северная, средняя, южная тайга и подзона предлесостепных сосново-березовых лесов) и провинциям (горная и холмисто-предгорная) под наиболее распространенными типами сосновых лесов.

Почвы северо- и среднетаежных сосновых лесов

В северной и средней тайге, как было отмечено выше, наиболее широко распространены сосняки брусничные и бруснично-багульниковые, сосняки зеленомошно-ягодниковые и сосняки крупнотравные, образующие топоэкологический ряд. В горной провинции в пределах этих двух подзон сосняки почти не встречаются и представлены они здесь в основном сосняками бруснично-багульниковыми. Морфологическое строение и химические свойства почв под такими лесами рассмотрим на примере р а з р е з а 10(65), заложенного в сосняке бруснично-багульниковом V бонитета на территории бывшего заповедного хозяйства "Денежкин Камень". Состав леса 8С1К1Е. Напочвенный покров представлен багульником, голубикой, брусникой, черникой и зелеными мхами. Высота местности 500 м над ур. м, верхняя часть крутого склона. Почва бурая горно-лесная оподзоленная.

A_0'	0–2 см	Неразложившая подстилка.
A_0''	2–6 см	Слаборазложившаяся подстилка.
A_1 A_2	6–8 см	Темно-серый с белесоватой присыпкой средний суглинок непрочно комковатой структуры, рыхлый. Переход ясный.
B	8–40 см	Красновато-бурый мелкокомковатый опесчаненный тяжелый суглинок, большое количество (по объему около 70%) обломков горной породы, влажный.
BC	40–65 см	Бурый бесструктурный тяжелый суглинок, количество обломков горной породы возрастает.

В холмисто-предгорной провинции в отличие от горной под сосновыми северо- и среднетаежными лесами заняты значительно большие площади и почвенные условия произрастания сосняков брусничных разнообразнее.

Р а з р е з о м 17(66), заложенным в верхней части крутого склона холма, вскрыт профиль бурой горно-лесной неполноразвитой почвы под сосняком брусничным (состав леса: 8С2Б), в напочвенном покрове которого преобладает брусника и представлены зеленые мхи, вейник лесной, майник двулистный и др.

A_0'	0–3 см	Неразложившаяся подстилка.
A_0''	3–7 см	Слаборазложившаяся подстилка.
A_1	7–19 см	Бурый мелкозернистый тяжелый суглинок, много мелких корней. Переход неясный.
BC	19–40 см	Бурый тяжелый суглинок, мелкокомковатый, много корней, крупные глыбы горной породы.
C	40–52 см	Бурый средний суглинок, глыбы и обломки породы составляют около 80–90%.

К бурой горно-лесной типичной почве, р а з р е з 6(66), приурочен сосняк багульниково-брусничный.

A_0'	0–3 см	Неразложившаяся подстилка.
A_0''	3–9 см	Полуразложившаяся темно-бурая подстилка, густо переплетенная корнями растений. Нижняя граница неровная.
A_1	9–15 см	Желтовато-бурый с серым оттенком тяжелый суглинок, много корней.
B_1	15–26 см	Желтовато-бурый с красноватым оттенком средний суглинок.
B_2	26–55 см	Красновато-бурый тяжелый суглинок, вязкий, влажный, глыбы породы.
C	55–75 см	Желтовато-бурый влажный средний суглинок, много мелкого, хорошо выветрившегося хряща и обломков горной породы.

Сосняки брусничные произрастают здесь и на придолинных склонах при близком подстилании известняков на перегнойно-карбонатных выщелоченных почвах. Р а з р е з 15(65), характеризующий такую почву, заложен на южном придолинном склоне к р. Вагран в 10 км к югу от г. Североуральска. Состав леса на участке 9С1Лц, ед. Б, бонитет III.

A_0A_1	0–5 см	Хорошо разложившаяся лесная подстилка.
A_1	5–7 см	Темно-серый мелкокомковатый средний суглинок, много растительных остатков. Переход ясный.
B	7–27 см	Красновато-бурый мелкоореховатый тяжелый суглинок, хрящ горной породы (известняк).
BC_K	27–60 см	Желтовато-бурый среднесуглинистый мелкозем, глыбы известняка (вскипает).

Приведенные морфологические описания почв северо- и среднетаежных сосняков бруснично-багульниковых и брусничных показывают, что на их поверхности накапливается довольно мощная (до 9 см) подстилка. Только в сосняке брусничном, приуроченном к придолинному хорошо дренируемому склону на карбонатных породах (вероятно, за счет более благоприятных условий для разложения опада), формируется маломощный горизонт A_0A_1, разрез 15(65). Гумусовый горизонт имеет в этих почвах небольшую мощность (от 2 до 8 см), и нижняя его граница выражена нечетко. Оподзоленный горизонт в профиле этих почв не выражен. Исключение представляют лишь почвы верхней границы сосновых лесов на Северном Урале – разрез 10 (65), где в гумусовом горизонте наблюдается белесоватая присыпка. Общая мощность почвенного профиля таких почв составляет 40–60 см, каменистость обнаруживается непосредственно под гумусовым горизонтом.

Данные механического состава (табл. 7) показывают, что мелкозем изученных почв представлен средним и тяжелым суглинком. Доминирующей для этих почв, особенно в нижних горизонтах, является крупная пыль, количество которой в разрезах 10(65) и 17(65) достигает 35%. Значительное участие в механическом составе принимают средний и мелкий песок, в сумме составляющие 21–39% в разных генетических горизонтах. Распределение ила по профилю сравниваемых почв не идентично. В почве разреза 10(65) и в меньшей степени в разрезе 17(66) наблюдается частичное перемещение ила из верхней части профиля в нижнюю, что, по-видимому, вызвано слабым оподзоливанием этих почв, морфологически проявляющимся только в разрезе 10(65). В почве этого разреза

Таблица 7

Механический состав почв сосняков брусничных Северного Урала

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Содержание частиц, %; диаметр, мм						
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01
10(65)	A_1A_2	6–8	13,4	26,5	25,2	6,7	9,7	18,5	34,9
	B	11–20	13,9	19,8	20,9	9,1	15,8	20,5	45,7
	B	25–35	14,5	17,1	20,6	6,6	16,4	24,7	47,7
	BC	53–65	2,5	23,3	35,6	11,8	12,2	14,6	38,6
6(66)	A_1	10–15	7,9	13,3	31,0	8,7	14,5	24,6	47,8
	A_1	20–25	12,4	12,7	31,2	10,0	12,5	21,2	43,7
	B	30–35	13,0	12,2	33,4	10,5	11,3	19,8	41,6
	B	40–50	13,8	13,7	30,8	9,1	13,3	19,3	41,7
	C	70–75	14,4	15,3	35,1	9,5	9,3	16,4	35,2
17(66)	A_1	8–15	9,5	11,2	32,8	10,3	15,3	20,9	46,5
	BC	30–40	13,7	10,2	27,7	9,5	15,5	23,4	48,4
	C	40–50	12,8	15,1	28,0	9,3	15,2	19,6	44,1

в горизонте A_1A_2 уменьшается и количество физической глины, содержание которой здесь меньше, чем в горизонте BC. В разрезе 17(66) некоторое уменьшение количества ила в горизонте A_1 не сопровождается изменением механического состава, т.е. содержание физической глины близко к его количеству в нижележащем горизонте BC и, более того, содержание частиц < 0,001 мм в верхней части профиля больше, чем в почвообразующей породе. В почве разреза 6(66) наблюдается постепенное уменьшение содержания ила с глубиной и минимум его приходится на почвообразующую породу, т.е. свойствен аккумулятивный тип распределения ила.

Таким образом, данные механического состава в согласии с морфологическим строением профиля позволяют считать оподзоленной только почву сосняка бруснично-багульникового верхней границы сосны на Северном Урале. Рассматриваемые почвы брусничных типов леса северных районов распространения на Урале характеризуются сравнительно высокой кислотностью. Величина pH (сол.) колеблется в подстилках от 4,0 до 5,8, а в почвообразующей породе от 3,9 до 7,3 (табл. 8). Более кислая подстилка накапливается в сосняке брусничном, приуроченном к верхнему высотному поясу (разрез 10(65)). Реакцию, близкую к нейтральной, имеет подстилка сосняка брусничного на перегнойно-карбонатной почве. Наибольшей кислотностью характеризуется слой почвы, залегающий непосредственно под подстилкой. В нижних горизонтах величина pH определяется составом горной почвообразующей породы. Влияние карбонатной породы ощутимо по всему профилю. Верхняя часть подстилки имеет меньшую кислотность, чем нижняя. Только в разрезе 10(65) верхний и нижний подгоризонты подстилки не отличаются, так как вследствие менее благоприятных климатических условий для разложения растительных остатков меньше высвобождается оснований, способных нейтрализовать кислые продукты опада. Этой почве

Таблица 8

Химический состав почв северо- и среднетаежных сосновых лесов Урала

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	pH KCl	Кислотность по Соколову, мг-экв на 100 г почвы		
				$H^{\cdot}$	$Al^{\cdot\cdot\cdot}$	$H^{\cdot} + Al^{\cdot\cdot\cdot}$
10(65)	A_0	0–2	4,0	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	A_0''	2–6	4,0	0,7	3,9	4,6
	A_1A_2	6–8	4,1	0,0	6,8	6,8
	B	11–20	4,6	0,0	6,2	6,2
	B	25–35	5,1	0,0	0,9	0,9
	BC	53–65	6,1	Не опр.	Не опр.	Не опр.
6(66)	A_0'	0–3	4,5	1,2	1,3	2,5
	A_0''	3–9	4,0	2,6	1,4	4,0
	A_1	10–15	3,4	0,1	5,3	5,4
	B_1	20–25	4,1	0,0	5,6	5,6
	B_2	30–35	4,2	0,0	3,2	3,2
	B	45–55	4,3	0,0	2,8	2,8
	C	70–75	4,3	0,0	0,8	0,8
17(66)	A_0'	0–3	4,5	0,7	1,2	1,9
	A_0''	3–7	4,4	0,7	2,2	2,9
	A_1	8–15	4,0	0,0	1,4	1,4
	BC	30–40	4,1	0,0	1,7	1,7
	C	40–50	3,9	0,0	1,2	1,2
15(65)	A_0A_1	0–5	5,8	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	A_1	5–7	5,6	”	”	”
	B	10–20	5,9	”	”	”
	BC_K	50–60	7,3	”	”	”

по сравнению с другими соответствует и более высокая обменная кислотность. Обусловлена она в минеральной части профиля обменным алюминием и лишь в органогенных горизонтах значительная роль принадлежит обменному водороду.

Содержание обменных оснований колеблется в значительных пределах как в подстилке, так и в минеральных горизонтах. Неоднотипно в них и распределение поглощенных оснований по профилю. В разрезе 10(65), несмотря на морфологически слабо выраженную оподзоленность, выноса поглощенных оснований из оподзоленной части профиля не наблюдается, т.е. для этой почвы характерен аккумулятивный тип распределения поглощеных оснований по профилю. Аналогично распределяются поглощенные основания и в перегнойно-карбонатной выщелоченной почве с тем лишь отличием, что здесь их содержится значительно больше. В разрезах 6(66) и 17(66) по распределению обменных оснований в средней части профиля отчетливо обособляется элювиальная толща значительной мощности, особенно в разрезе 6(66). Согласно данным механического состава, элювиальный горизонт в этой почве не выражен. Следовательно, дифференциация профиля обусловлена не разрушением почвенного поглощающего

Поглощенные основания, мг-экв на 100 г почвы			Гумус по Тюрину, %	Азот общий, %	$\frac{C}{N}$
$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$			
22,9	8,3	31,2	Не опр.	Не опр.	--
17,1	6,7	23,8	"	2,1	–
5,6	3,6	9,2	7,8	0,6	7
5,4	3,3	8,7	3,1	0,2	–
4,9	2,5	7,4	1,7	0,1	–
4,5	3,8	8,3	Не опр.	Не опр.	–
30,2	10,4	40,6	"	1,0	–
13,4	6,2	19,6	"	1,2	–
2,1	2,2	4,3	4,3	0,2	12
1,4	1,6	3,0	1,5	Не опр.	–
2,1	1,7	3,8	1,2	"	–
9,0	2,2	11,2	0,6	Не опр.	–
18,1	4,9	23,0	0,4	"	–
30,3	10,0	40,3	Не опр.	1,1	–
28,2	12,1	40,3	"	1,0	–
4,2	9,9	14,1	5,1	0,2	14
6,1	10,9	17,0	2,9	0,1	–
8,3	16,9	25,2	1,6	Не опр.	–
43,9	7,5	51,4	Не опр.	"	–
44,6	3,4	48,0	10,1	"	–
32,6	4,9	37,5	3,5	"	–
		Не определялось			–

комплекса, а частичным вымыванием кальция и магния водами, легко фильтрующимися через толщу хрящеватых отложений, или боковым внутрипочвенным стоком по уклону местности.

Рассматриваемые почвы характеризуются высоким содержанием гумуса. Наибольшее его накопление, или наилучшее закрепление, наблюдается в гумусовом горизонте перегнойно-карбонатной выщелоченной почвы. В отличие от дерново-подзолистых почв гумус отличается высокой мобильностью, и его содержание уменьшается плавно, даже на глубине 40–50 см (горизонт С) его количество в разрезе 17(66) составляет 1,6%. Судя по величине С : N = 12–14, обогащенность органического вещества азотом в этих почвах низкая и только в разрезе 10(65) высокая (С : N = 7).

Морфологическое строение почв северотаежных сосняков зеленомошно-ягодниковых рассмотрим на примере двух разрезов. Сосновые леса этого типа более производительные, занимают более низкие гипсометрические поверхности и, как правило, менее дренированные участки по сравнению с сосняками брусничными.

Разрез 14(65) заложен на выровненном участке вершины полого-

Таблица 9

Механический состав почв сосновых северо- и среднетаежных лесов восточных предгорий Урала

№ разреза	Глубина, см	Скелет, %	Содержание частиц, %; диаметр, мм						
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01
12(65)	9–17	4,70	14,7	18,6	25,5	7,6	12,1	21,4	41,1
	20–30	21,70	18,2	19,3	22,0	9,1	10,7	20,5	40,4
	55–65	41,05	20,1	22,0	24,1	7,0	10,8	15,9	33,8
14(65)	7–15	32,57	7,2	1,4	33,6	10,6	20,0	27,0	57,7
	15–24	61,87	10,6	25,7	24,0	9,4	12,6	17,5	39,6
	25–35	72,10	12,6	12,5	22,9	10,9	11,7	29,1	51,9

го склона (пос. Всеволодо-Благодатский) под пологом сосняка ягодниково-зеленомошного с составом древостоя 8С1Л1Б + Е, возраст 120 лет, бонитет III. Напочвенный покров представлен зелеными мхами, черникой, брусникой, майником, подмаренником, мышиным горошком, костяникой.

A_0'	0–2 см	Неразложившаяся подстилка.
A_0''	2–7 см	Полуразложившаяся подстилка.
A_1A_2	7–15 см	Серовато-бурая комковатая глина с включением щебня породы.
BC	15–24 см	Бурый с серым оттенком средний суглинок с большим количеством щебня породы. Переход постепенный.
C	24–35 см	Желтовато-бурая глина, 90% по объему составляют обломки горной породы.

Таблица 10

Химический состав почв северо- и среднетаежных лесов Урала

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	pH солевой	Обменная кислотность по Соколову, мг-экв на 100 г почвы		
				H^+	Al^{+++}	$H^+ + Al^{+++}$
12(65)	A_0'	0–2	5,1	0,9	3,7	4,6
	A_0''	2–9	4,9	0,4	1,2	1,6
	A_1	9–17	5,4	0,2	1,5	1,7
	BC	20–30	5,1	0,0	0,9	0,9
	C	55–65	6,2	0,0	0,5	0,5
14(65)	A_0'	0–2	4,8	1,7	1,7	3,4
	A_0''	2–7	4,1	1,5	8,9	10,4
	A_1A_2	7–15	4,7	0,1	0,8	0,9
	BC	15–24	4,9	0,0	0,0	0,0
	C	25–35	5,1	0,0	1,0	1,0
18(65)	A_0	0–2	5,5	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	A_1	2–8	5,3	"	"	"
	B	10–15	4,6	"	"	"
	B	25–35	6,0	"	"	"
	BC_K	53–60	6,8	"	"	"

Разрез 12(65) заложен под пологом сосняка зеленомошно-ягодникового, в напочвенном покрове которого, помимо черники, брусники и зеленых мхов, принимает участие разнотравье.

A_0'	0–2 см	Неразложившаяся подстилка.
A_0''	2–9 см	Слаборазложившаяся лесная подстилка.
A_1	9–17 см	Буровато-серый комковатый тяжелый суглинок, влажный. Переход слабо заметный.
BC	17–33 см	Бурый тяжелый суглинок с большим количеством обломков породы (79–80%). Переход постепенный.
C	33–65 см	Бурый средний суглинок с неясно выраженной структурой, много обломков горной породы.

Сосняки крупнотравные распространены на этой территории ограниченно. Почва под сосняком крупнотравным описана на пологом придолинном склоне к р. Какве (к югу г. Карпинска). Состав древостоя на этом участке 8С2Б + Лц, возраст 100 лет, бонитет II, в напочвенном покрове преобладает разнотравье. В разрезе 18(65), характеризующем эту почву, выделены следующие генетические горизонты.

A_0	0–2 см	Неразложившаяся подстилка.
A_1	2–8 см	Серый легкий суглинок, комковатый, рыхлый, густо пронизан корнями растений. Переход ясный.
B	8–40 см	Бурый с красноватым оттенком легкий суглинок, мелкокомковатый, уплотнен, влажный, гумусовые затеки до глубины 30 см, корни идут на всю глубину.
BK_K	40–70 см	Желтовато-бурый средний суглинок среди глыб и обломков известняка. Глыбы вскипают.

Приведенные морфологические описания позволяют отметить, что почвы сосняков зеленомошно-ягодниковых отличаются накоплением на их

Поглощенные основания, мг-экв на 100 г почвы			Гумус, %	Азот, %	$\frac{C}{N}$
$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}+Mg^{\cdot\cdot}$			
24,3	11,5	35,8	Не опр.	Не опр.	–
22,2	9,5	31,7	”	”	–
7,8	2,6	10,4	6,36	0,5	7
6,2	2,1	8,3	2,29	Не опр.	–
6,3	2,9	9,2	Не опр.	”	–
25,3	6,6	31,9	”	”	–
27,8	9,4	37,2	”	”	–
9,8	5,7	15,5	10,62	0,8	8
18,8	3,7	22,5	5,61	Не опр.	–
12,9	3,9	16,8	1,89	”	–
50,7	10,2	60,9	Не опр.	Не опр.	–
26,2	7,3	33,5	6,37	0,4	9
17,9	3,1	21,0	2,62	Не опр.	–
Не опр.	Не опр.	Не опр.	1,85	”	–
”	”	”	Не опр.	”	–

поверхности подстилки несколько большей мощности (до 9 см), чем в сосняках брусничных. Наименьшая мощность подстилки наблюдается в сосняках крупнотравных. Гумусовый горизонт имеет мощность около 8 см, и его нижняя граница, как и в почвах сосняков брусничных, выражена нечетко. Оподзоленность морфологически проявляется слабо, в виде белесой присыпки в гумусовом горизонте. Таким образом, почвы сосняков зеленомошно-ягодниковых представлены горно-лесными бурыми маломощными оподзоленными и бурыми горно-лесными неоподзоленными, а сосняков крупнотравных – дерново-карбонатными выщелоченными.

Из данных механического состава (табл. 9) следует, что рассматриваемые почвы представлены тяжелыми суглинками и глинами. Преобладающими фракциями являются крупная пыль и ил. В этих почвах наблюдаются закономерное увеличение содержания крупных и уменьшение мелких частиц с глубиной, т.е. по мере ослабления интенсивности процессов выветривания и почвообразования в этом направлении. В оподзоленной почве разреза 14(65) наблюдается резкое уменьшение количества ила, но не в горизонте морфологической локализации оподзоливания, а в нижележащем слое. Можно предположить, что илистые частицы выносятся из этого слоя внутрипочвенным боковым стоком, возникающим на контакте с плотной горной породой. Могут быть и другие объяснения этому факту, т.е. в горных условиях имеют место трудно объяснимые явления и процессы.

Данные определения pH (табл. 10) показывают, что подстилка в этих типах сосняков, особенно в крупнотравных, имеет слабокислую реакцию. Наибольшая кислотность наблюдается в средней части почвенного профиля. Высокую обменную кислотность имеют органогенные горизонты, особенно в оподзоленной почве, и с глубиной она резко падает. Обусловлена обменная кислотность обменным алюминием, только в подстилке оподзоленной почвы разреза 14(65) водород и алюминий представлены поровну. Подстилка под пологом этих лесов содержит значительное количество (31–37 мг-экв на 100 г почвы) поглощенных оснований. Особенно велико их количество в подстилке сосняка крупнотравного, приуроченного к почве на карбонатной породе. В минеральных горизонтах содержание оснований резко падает, а ниже по профилю их количество уменьшается постепенно. В оподзоленной части профиля разреза 14(65) содержание обменных кальция и магния меньше, чем в нижележащем горизонте, но незначительно отличается от горизонта С, т.е. в этой почве отчетливо выражено элювиально-иллювиальное распределение оснований по профилю. Эти почвы отличаются высоким содержанием гумуса. Гумусовый профиль их растянут. Обогащенность гумуса азотом (C : N = 7–9) более высокая, чем в сосняках брусничных этой подзоны.

Почвы южнотаежных сосновых лесов

В горной провинции Урала в пределах рассматриваемой подзоны в отличие от северной и средней тайги, где в горах господствуют еловые леса, наиболее распространены сосновые или смешанные елово-сосновые древостои. Поскольку эти леса сильно эксплуатировались, то широкое распространение получили здесь производные березняки. Кроме того,

береза, а также липа участвуют в составе еловых и сосновых лесов этой подзоны. В напочвенном покрове возрастает участие разнотравья, т.е. в южной тайге широко распространены сосняки травяные. Представлены здесь зеленомошно-ягодниковые и брусничные сосняки, последние, однако, занимают здесь ограниченные площади.

Рассмотрим морфологическое строение почвы горной провинции южной тайги. Разрез 22(67) заложен в 17 км на север от с. Кенчурка на пологом южном склоне водораздельной гряды под сосняком травяным с липой. Состав древостоя 9С1Лп, ед. Б, Лц, Пх, бонитет III. Напочвенный покров: вейник, сныть, майник, чина, ракитник, пятнами черника.

$A_д$	0–7 см	Уплотненная дернина, слаборазложившаяся, много угольков.
A_1	7–9 см	Темно-бурый тяжелый суглинок, рыхлый, много корней.
B	9–20 см	Желтовато-бурый хрящеватый тяжелый суглинок. Нижняя граница неясная.
BC	20–30 см	Желтовато-бурый хрящеватый средний суглинок, встречается много обломков породы (около 70% по объему).

Сосняки разнотравные приурочены и к бурым горно-лесным типичным почвам, имеющим мощность профиля 70–80 см и морфологически неоподзоленным.

Разрез 16(67) характеризует почву сосняка травяного II бонитета. Состав леса 10С, ед.Б,Лп. В напочвенном покрове – черника, костяника, сныть, вейник, перловник, ракитник. Разрез заложен в 26 км на юг от пос. Полдневое на междуречье рек Чусовая–Бобровка.

A_0	0–3 см	Слаборазложившаяся густо переплетенная корнями растений лесная подстилка.
A_1	3–9 см	Буровато-серый комковатый тяжелый суглинок, много корней. Переход постепенный.
B	9–22 см	Бурый тяжелый суглинок комковато-ореховатой структуры, слегка уплотнен.
BC	22–55 см	Буровато-серый элювий слюдисто-хлоритовых сланцев, мелкозем среднесуглинистый.

К плоским слабо дренируемым водоразделам высоких холмов и пологим склонам увалов приурочены сосняки зеленомошно-ягодниковые.

Разрез 15(67), характеризующий почву этого типа леса, заложен близ пос. Черемша (к югу от Билибмая) в средней части пологого склона западной экспозиции. Состав леса в 1-м ярусе – 10С, во 2-м ярусе – ель, пихта, береза, бонитет III. Напочвенный покров: зеленые мхи, черника, вейник, грушанка, герань лесная, кисличка, костяника, аконит.

A_0A_1	0–6 см	Грубогумусная темно-серая масса, густо пронизана корнями растений. Нижняя граница неровная.
A_2B	6–26 см	Светло-бурый легкий суглинок мелкоореховатой структуры. Переход постепенный.
B	26–54 см	Красновато-бурый ореховатый средний суглинок, уплотнен. Переход постепенный.
BC	54–105 см	Красновато-бурый тяжелый вязкий суглинок со слюдистым блеском, много обломков породы (элювий слюдянистых сланцев).

Из приведенных морфологических описаний следует, что почвы под сосновыми лесами в горной провинции южнотаежных лесов неоднородны. Здесь представлены как маломощные (фрагментарные) почвы (разрез

22(67)), так и неоподзоленные полнопрофильные (разрез 16(67)) и горные оподзоленные (разрез 15(67)). В отличие от северо- и среднетаежных почв горной провинции верхние горизонты южнотаежных почв часто задернованы. Собственно гумусовый горизонт имеет небольшую мощность, а в горно-подзолистой почве он практически не выражен. Отличается эта почва от бурых горно-лесных более тяжелым механическим составом, особенно в нижних горизонтах профиля, что в сочетании с рельефом местности создает условия для проявления анаэробных процессов. Горно-лесные подзолистые почвы занимают более высокие высотные пояса, чем бурые горно-лесные почвы, т.е. их формирование происходит в условиях большей атмосферной влажности и при более суровом температурном режиме.

По механическому составу (табл. 11) изученные почвы представлены тяжело- и среднесуглинистыми разновидностями. В бурых горно-лесных неполноразвитых почвах наблюдаются увеличение с глубиной по профилю количества крупного песка и уменьшение содержания илистых частиц. В составе фракций таких почв преобладают крупная пыль и ил, составляющие в сумме около 50%. Судя по характеру распределения ила по профилю бурой неполноразвитой почвы, они характеризуются поверхностным оглиниванием. В бурой горно-лесной типичной почве разреза 16(67) характер распределения ила аналогичен, т.е. максимум его, как и в рассмотренной выше почве, наблюдается в горизонте A_1. В глубь почвенного профиля содержание ила и физической глины постепенно уменьшается.

Все рассматриваемые почвы этой провинции характеризуются кислой реакцией среды (табл. 12). Бурые горно-лесные почвы отличаются меньшей кислотностью верхних горизонтов, чем горно-подзолистые, т.е. последние формируются под менее богатой зольными элементами растительностью. Кислотность нижних горизонтов определяется горной почвообразующей породой. Обменная кислотность в этих почвах невелика. В подстилках она связана в основном с водородом, а в минеральных горизонтах обусловлена алюминием. Максимум обменной кислотности погружен на глубину около 20 см. Поглощенные основания накапливаются в большом количестве в подстилках, особенно в бурых горно-лесных почвах. Им характерно также сравнительно постепенное уменьшение содержания обменных кальция и магния в нижележащем горизонте, тогда как в горно-подзолистой почве количество их падает более резко. В горно-подзолистой почве элювиально-иллювиальное расчленение профиля по распределению поглощенных оснований выражено отчетливо, однако мощность элювиальной толщи небольшая.

В бурых горно-лесных почвах гумусовый горизонт выражен отчетливее, и содержание гумуса в нем составляет 5,5–7,0%. Гумусовый профиль в изученных почвах, как и в большинстве горных, растянут. Содержание гумуса в бурых почвах даже на глубине 45–55 см составляет 0,9%. Судя по широким отношениям C : N (13–26), обогащенность гумуса этих почв азотом очень низкая.

В холмисто-предгорной провинции в южнотаежной подзоне, как и в северной тайге, отчетливо выражена зависимость в распределении почв от рельефа местности, мощности почво-элювия.

Таблица 11

Механический состав почв южнотаежных сосновых лесов горной провинции

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Содержание частиц, %; диаметр, мм						
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01
22(67)	$A_д$	7–9	11,0	10,8	35,1	10,8	15,3	17,0	43,1
	B	9–20	12,7	14,6	31,5	12,5	14,6	14,1	41,2
	BC	20–30	23,6	14,7	30,2	8,0	13,2	10,3	31,5
16(67)	A_1	3–9	3,8	11,0	37,6	15,8	18,0	13,8	47,5
	B_1	9–18	7,8	11,0	36,5	15,8	17,9	11,0	44,7
	B_2	25–35	10,2	9,5	37,6	17,0	14,7	11,0	42,7
	BC	45–55	14,8	11,1	39,6	15,6	10,6	8,3	34,5

Вершины крутых склонов, где мощность элювиальных отложений наименьшая, заняты неполноразвитыми маломощными бурыми почвами. К средним и нижним третям крутых и пологих склонов приурочены бурые типичные почвы, а плоские вершины невысоких увалов, пологие склоны и хорошо дренируемые понижения заняты дерново-палево-подзолистыми почвами.

Горно-лесные бурые неполноразвитые почвы встречаются на всей изученной территории, но занимают незначительные площади. Формируются они под сосняками брусничными, III бонитета с изреженным напочвенным покровом из брусники, черники, кошачьей лапки, ракитника. Разрез 48(62), характеризующий такую почву, заложен в верхней трети склона.

A_0	0–2 см	Неразложившаяся подстилка.
A_0A_1	2–7 см	Темно-серый легкий суглинок непрочнокомковатой структуры, рыхлый, с большим количеством растительных остатков, включения дресвы гранита. Переход ясный.
AC	7–22 см	Бурая бесструктурная супесь с большим количеством дресвы, ниже залегают плиты породы.

По мере увеличения мощности элювиальной толщи почвенный профиль приобретает вид: A_0–A_1–B–BC (бурые горно-лесные типичные почвы). Мощность профиля почв с таким строением составляет около 50 см.

Для знакомства с морфологическим строением таких почв приводим описание почвы под сосняком зеленомошно-ягодниковым. Разрез 49(62) заложен в 7 км к западу от пос. Кедровое в средней части склона северной экспозиции. Состав древостоя 10С, бонитет III. Напочвенный покров представлен черникой, брусникой, земляникой, зелеными мхами, вейником и др.

A_0	0–3 см	Слаборазложившийся опад (хвоя, веточки, шишки), книзу темно-бурый, более разложенный.
A_1	3–9 см	Буровато-серый легкий суглинок комковатой структуры, рыхлый. Переход заметный.
B	9–35 см	Бурый легкий суглинок непрочнокомковатой структуры, с дресвой. Переход по цвету и структуре постепенный.
BC	35–50 см	Желтовато-бурая супесь, щебнистая, бесструктурная, с 50 см крупные обломки гранита.

Таблица 12

Химический состав почв сосновых и южнотаежных лесов горной провинции

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	pH KCl	Кислотность по Соколову, мг-экв на 100 г почвы			Поглощенные $Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$, мг-экв на 100 г почвы	Гумус по Тюрину, %	Азот общий, %	$\frac{C}{N}$
				$H^{\cdot}$	$Al^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot} + Al^{\cdot\cdot}$				
22 (67)	A_0	0–7	4,4	1,3	0,4	1,7	36,7	Не опр.	Не опр.	–
	$A_Д$	7–9	3,9	0,2	1,2	1,4	15,6	7,0	0,17	24
	B	9–20	3,9	0,0	1,8	1,8	7,2	1,9	Не опр.	–
	BC	20–30	4,2	0,1	0,6	0,7	5,1	Не опр.	"	–
16 (67)	A_0	0–3	5,0	0,8	0,0	0,8	39,7	"	"	–
	A_1	3–9	4,6	0,1	0,2	0,3	13,5	5,5	0,12	26
	B	9–18	4,6	0,0	1,2	1,2	6,1	2,2	Не опр.	–
	BC	25–35	3,8	0,1	0,8	0,9	8,8	1,2	"	–
	BC	45–55	3,7	0,0	0,8	0,8	12,9	0,9	"	–
15 (67)	A_0A_1	0–6	4,2	0,3	0,0	0,3	34,7	15,1	0,65	13
	A_2B	10–20	4,1	0,4	0,3	0,7	5,2	1,0	Не опр.	–
	B	26–36	4,3	0,1	1,1	1,2	11,9	0,8	"	–
	B	40–50	4,4	0,0	0,7	0,7	15,6	0,7	"	–
	BC	90–100	4,6	0,1	0,4	0,5	9,4	0,7	"	–

При дальнейшем увеличении мощности мелкоземлистой толщи в профиле почв формируется осветленный горизонт как результат процесса оподзоливания. Это преимущественно почвы травяных типов сосновых лесов II–III бонитета, приуроченные к средним частям пологих и нижним третям крутых склонов. Разрез 47 (62) заложен на территории Шитовского лесничества Уралмашевского лесхоза.

A_0	0–2 см	Слаборазложившаяся подстилка.
A_1	2–7 (9) см	Серый с буроватым оттенком легкий суглинок комковато-пороховидной структуры, рыхлый. Переход заметный, нижняя граница неровная.
A_2B	7 (9) –15 см	Бурая с белесой кремнеземистой присыпкой супесь с дресвой гранита, непрочнокомковатая, пронизана корнями растений. Переход постепенный.
B	15–61 см	Желтовато-бурая бесструктурная супесь с хрящом, местами красновато-бурые линзы тяжелого механического состава, корней меньше.
BC	61–100 см	Светлее предыдущего, с большим количеством полувыветрившихся обломков гранита, подстилается плитами гранита.

В механическом составе (табл. 13) рассматриваемых почв преобладают крупные фракции, количество которых с глубиной возрастает. Наиболее значительно увеличение скелетной фракции. Так, в разрезе 48 (62) количество ее от 7% в перегнойно-аккумулятивном горизонте повышается до 32% в С. В почвах с более мощным профилем – разрез 47 (62) – увеличение содержания скелета идет постепенно, однако различие в количестве этой фракции между аккумулятивным горизонтом и ВС чрезвычайно велико. Среди песчаных фракций в большинстве исследованных почв преобладает крупный песок. В глубь по профилю увеличивается содержание этих частиц, а среди пылеватых частиц – крупной пыли. Содержание ила в верхних горизонтах почвенного профиля всех сравниваемых почв выше, чем в почвообразующей породе. Причем в неполноразвитых и типичных бурых горно-лесных почвах наблюдается постепенное уменьшение содержания ила с глубиной, тогда как в оподзоленной почве происходит незначительное перемещение ила.

Горно-лесные неполноразвитые почвы под сосняками брусничными имеют слабокислую реакцию среды (табл. 14). Кислотность почвы с глубиной несколько увеличивается. Обменные кальций и магний интенсивно накапливаются в подстилке (41 мг-экв на 100 г почвы), в нижележащем горизонте их содержание резко уменьшается. Наименьшее содержание поглощенных оснований в таких почвах всегда приходится на нижний горизонт почвенного профиля. Гумус имеет аналогичный характер распределения по профилю, что и поглощенные основания. Отмечается высокое содержание гумуса, слабо насыщенного азотом (отношение C : N= 18).

Почвы с более мощным, хорошо сформированным почвенным профилем (бурые типичные и оподзоленные) по химическим показателям почти не отличаются от неполноразвитых почв. Они также имеют слабокислую, реже – кислую реакцию среды, мало изменяющуюся по профилю. Наименьшая кислотность в них также обнаружена в верхних горизонтах. Обменная кислотность очень мала. Рассматриваемые почвы характеризуются высоким накоплением обменных оснований в подстилке и постепенным

Таблица 13

Механический состав горно-лесных почв сосновых лесов южной тайги холмисто-предгорной провинции

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Скелет, %	Содержание частиц, %; диаметр, мм	
				1–0,25	0,25–0,05
48 (62)	A_0A_1	2–6	6,9	38,6	17,9
	AC	10–20	32,4	39,8	28,7
49 (62)	A_1	3–9	2,2	32,6	42,5
	B	15–20	16,7	68,1	11,5
	BC	35–40	48,9	80,3	10,3
47 (62)	A_1	2–7	2,2	45,7	21,6
	A_2B	8–13	16,7	65,1	12,2
	B	20–30	28,1	61,8	14,1
	B	40–50	48,4	69,0	15,8
	BC	65–75	52,6	64,8	17,0

Таблица 14

Химический состав почв южнотаежных сосновых лесов холмисто-предгорной провинции

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	pH_{KCl}	Кислотность по Соколову, мг-экв на 100 г почвы		
				$H^{\cdot}$	$Al^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot} + Al^{\cdot\cdot}$
48 (62)	A_0	0–2	5,2	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	A_0A_1	2–6	4,4	"	"	"
	AC	10–20	4,2	"	"	"
49 (62)	A_0	0–3	4,9	"	"	"
	A_1	3–9	4,2	0,2	0,8	1,0
	B	15–20	4,5	0,0	0,6	0,6
	BC	35–40	4,7	0,0	0,2	0,2
47 (62)	A_0	0–2	4,9	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	A_1	2–7	4,2	0,2	0,6	0,8
	A_2B	8–13	4,2	0,0	0,2	0,2
	B	20–30	4,3	0,0	1,6	1,6
	B	40–50	4,3	0,0	2,2	2,2
	BC	65–75	4,2	0,0	3,0	3,0
	BC	90–100	3,9	0,0	2,1	2,1

уменьшением их содержания в пределах минеральной части профиля. По характеру распределения оснований не выражена дифференциация почвенного профиля, свойственная подзолистым почвам, т.е. не наблюдается элювиального уменьшения содержания поглощенных оснований и процесс оподзоливания, даже в формировании почв с осветленным горизонтом, существенной роли не играет.

В холмисто-предгорной провинции в пределах южной тайги широко

Содержание частиц, %; диаметр, мм				
0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,01	< 0,001	< 0,01
19,8	8,1	6,6	9,0	23,7
14,9	6,3	6,2	4,1	16,6
9,4	7,8	1,6	6,1	15,5
8,5	4,1	4,1	3,7	11,9
4,5	1,1	1,9	1,9	4,9
10,7	6,8	3,7	9,5	22,0
10,0	4,5	4,4	3,8	12,7
9,7	4,4	5,6	4,4	14,4
4,8	1,6	5,0	3,8	10,4
6,4	3,6	2,5	5,7	11,8

Поглощенные основания, мг-экв на 100г почвы			Гумус по Тюрину, %	Азот общий, %	$\frac{C}{N}$
$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$			
31,1	9,9	41,0	Не опр.	Не опр.	–
13,1	4,7	17,8	14,4	0,47	22
2,0	0,9	2,9	2,2	Не опр.	–
37,4	6,6	43,0	Не опр.	Не опр.	"
8,0	2,6	10,6	13,7	0,41	19
3,3	0,9	4,2	1,7	Не опр.	
1,9	0,5	2,4	0,9	"	
35,0	9,2	44,2	Не опр.	"	–
7,1	2,8	9,9	10,2	0,32	18
5,7	1,6	7,3	1,7	0,06	16
2,9	1,9	4,8	0,8	Не опр.	–
2,5	2,0	4,5	0,5	"	–
3,0	1,7	4,7	1,1	"	–
2,6	1,1	3,7	0,4	"	–

распространены (около 50% территории) почвы, отличающиеся от рассмотренных выше наличием морфологически ясно выраженного довольно мощного осветленного горизонта палевого или желтовато-палевого цвета. Формирование этих почв происходит на делювии тех же пород, элювий которых служит почвообразующими породами для бурых лесных почв. Следовательно, рассматриваемые почвы образуются на менее хрящеватых породах и занимают более низкие, слабее расчлененные по

рельефу местоположения по сравнению с бурыми неоподзоленными почвами.

Для представления о морфологии дерново-палево-подзолистых почв, сформированных на делювии различных горных пород, приводим описания нескольких разрезов.

Разрез 46(63) заложен на территории Шитовского лесничества Уралмашевского лесхоза на нижней трети склона западной экспозиции под пологом сосняка зеленомошно-ягодникового с разнотравьем. Состав леса 10С+Б+Пх, II бонитет. Напочвенный покров представлен вейником, клевером, черникой, брусникой, зелеными мхами.

A_0 0–2 см	Сильноразложившаяся подстилка, только в верхнем слое можно различать отдельные хвоинки, веточки и др.
A_1 2–10 см	Серый со слабым буроватым оттенком легкий суглинок, комковатый, рыхлый. Переход заметный.
A_2 10–20 см	Палевый легкий суглинок, комковатый, рыхлый. Переход постепенный.
В 20–50 см	Бурый легкий суглинок, непрочнокомковатый, слабо уплотнен, с включением дресвы.
ВС 50–70 см	Желтовато-бурая (книзу постепенно светлеет) супесь бесструктурная, обилие дресвы. Ниже трещиноватая горная порода (элюво-делювий гранита).

Разрез 84(63) заложен на территории Чусовского лесничества Верх-Исетского лесхоза в средней трети пологого склона под сосняком травяным II бонитета. В травяно-кустарничковом покрове – черника, земляника, ракитник, вейник, костяника.

A_0 0–2 см	Полуразложившаяся лесная подстилка.
A_1 2–7 см	Темно-серый легкий суглинок, мелкокомковатый, рыхлый. Переход мелкими затеками, ясный.
A_2 7–17 см	Палевая супесь, комковатая, слегка уплотнена. Переход ясный.
A_2В 17–30 см	Палево-бурая супесь, мелкокомковатая, с присыпкой по граням структурных отдельностей, уплотнена.
В 30–55 см	Красновато-бурая супесь, включения обломков породы.
ВС 55–70 см	Песчаный элюво-делювий диорита, с 70 см крупные обломки породы.

Разрез 82(63) заложен в Решетском лесничестве Верх-Исетского лесхоза на последней трети покатого склона под пологом производного березняка разнотравного. В травяном покрове вейник, клевер, сныть, наперстянка, мышиный горошек и др.

A_0 0–1 см	Слаборазложившийся опад.
A_1 1–13 см	Серый средний суглинок зернисто-комковатой структуры, уплотненный. Переход по неровной линии.
A_2 13–25 см	Палевый средний суглинок непрочнокомковатой структуры, уплотнен. Переход ясный.
B_1 25–50 см	Желтовато-бурый средний суглинок, непрочнооореховатый, плотноватый, включения дресвы. Переход постепенный.
B_2 50–75 см	Красновато-бурый средний суглинок, плотный, включения щебня. Переход постепенный.
ВС 75–105 см	Желтовато-серая супесь, бесструктурная, рыхлая, обилие щебня (элюво-делювий диабаза).

Рассматриваемые почвы по механическому составу (табл. 15) представлены легко- и среднесуглинистыми разновидностями. Наиболее легкие по механическому составу почвы формируются на элюво-делювии гранитов и

Таблица 15

Механический состав дерново-палево-подзолистых почв сосновых южнотаежных лесов холмисто-предгорной провинции

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Содержание частиц, %; диаметр, мм						
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
46 (63)	A_1	2–9	32,4	10,3	27,8	8,6	11,2	9,7	29,5
	A_2B	11–17	38,2	12,8	19,7	12,4	8,5	8,4	29,3
	B	30–40	47,5	8,4	19,3	7,4	6,3	11,1	24,8
	BC	55–65	66,3	10,2	13,0	2,0	4,2	4,3	10,5
84 (63)	A_1	3–7	26,8	34,0	17,9	6,8	8,6	5,9	21,3
	A_2	10–17	25,8	40,4	15,5	6,9	7,8	3,5	18,3
	B	30–40	28,2	39,6	14,5	7,0	7,0	2,7	17,7
	BC	45–55	35,2	47,1	12,7	0,8	2,6	2,6	6,0
82 (63)	A_1	1–10	22,4	15,3	28,5	11,3	5,3	17,2	33,8
	A_2	14–22	23,5	15,4	29,3	9,4	9,8	12,6	31,8
	B_1	30–40	24,9	23,2	18,3	5,9	7,9	19,8	33,6
	B_2	55–65	28,4	25,7	16,0	4,9	5,0	20,0	29,9
	BC	80–90	44,5	21,9	18,2	3,0	5,7	6,7	15,4

гранодиоритов – разрезы 46 (63), 84 (63). В гранулометрическом составе их преобладает крупный песок, количество которого с глубиной возрастает. Следующей по преобладанию фракцией является крупная пыль, количество ее с глубиной уменьшается. В составе мелких частиц (< 0,01 мм) нет превалирования одной фракции над другой – все они представлены почти поровну. Изменение содержания ила по профилю свидетельствует об элювиально-иллювиальной дифференциации профиля. Однако наименьшее количество ила соответствует не горизонту A_2, а почвообразующей породе, т.е. профиль этих почв в отличие от подзолистых характеризуется накоплением ила относительно почвообразующей породы.

Другим отличием рассматриваемых почв от подзолистых является то, что максимум содержания физической глины в них приходится на верхний горизонт и вниз по профилю количество ее уменьшается. Таким образом, распределение частиц < 0,01 мм в этих почвах имеет аккумулятивный характер, тогда как в подзолистых почвах – элювиальный. По мере того как в почвах уменьшается количество крупного материала, способного в процессе выветривания и почвообразования обогащать почву мелкими частицами, все более отчетливо становится выраженным вынос ила из верхних горизонтов.

Почвы, сформированные на элюво-делювии диабаза разреза 82 (63), отличаются от рассмотренных выше почв более тяжелым механическим составом. В них наблюдается более отчетливое перераспределение тонких фракций по элювиально-иллювиальному типу.

Таким образом, данные механического состава показывают, что частичное перемещение ила в этих почвах имеет место, но оно сочетается здесь с одновременно идущим процессом оглинивания. Можно предположить так-

Таблица 16

Химический состав дерново-палевоподзолистых почв сосновых лесов

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	pH_{KCl}	Поглощенные основания, мг-экв на 100 г почвы			Гумус по Тюрину, %
				$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}+Mg^{\cdot\cdot}$	
46 (63)	A_0	0–2	4,9	17,1	7,0	24,1	Не опр.
	A_1	2–9	4,6	8,0	3,8	11,8	9,05
	A_2B	11–17	4,5	2,4	1,2	3,6	1,64
	B	30–40	4,6	2,2	1,2	3,5	0,50
	BC	55–65	4,6	10,1	2,3	12,4	0,30
84 (63)	A_0	0–2	5,3	24,5	10,0	34,5	Не опр.
	A_1	3–7	5,2	8,4	5,3	13,7	7,70
	A_2	10–17	4,7	2,2	1,5	3,7	2,30
	A_2B	20–23	4,6	2,6	1,6	4,2	0,55
	B	30–40	4,6	11,7	3,3	15,0	Не опр.
	BC	65–70	4,8	8,8	4,1	22,9	”
82 (63)	A_0	0–1	5,5	30,7	11,0	41,7	Не опр.
	A_1	1–10	5,0	12,5	5,2	17,7	5,70
	A_2	14–22	4,8	3,9	1,9	5,8	0,98
	B_1	30–40	4,8	6,8	6,1	12,9	0,48
	B_2	55–65	5,0	17,9	6,3	24,2	0,20
	BC	80–90	5,2	11,6	5,5	17,1	Не опр.

же, что современный процесс выноса ила накладывается на оглинивание, которое имело место в предшествующую буроземную стадию почвообразования.

Все рассматриваемые почвы характеризуются слабокислой реакцией среды в A_0 и A_1 (табл. 16). Наибольшей кислотностью отличаются оподзоленный и, реже, иллювиальный горизонты. В почвах, развитых на богатых основаниями породах– разрез 82(63), кислотность вниз по профилю довольно быстро погашается, а почвы на бедных основаниями породах даже в нижних горизонтах имеют высокую кислотность. Независимо от того, на какой породе сформирована почва, минимум кислотности всегда приурочен к аккумулятивным горизонтам, т.е. накапливающийся на поверхности почвы опад содержит большое количество зольных элементов, способных частично нейтрализовать кислые продукты, образующиеся в процессе минерализации опада. Существенную роль при этом играет состав древесного полога и напочвенного покрова. Березовые леса–разрез 82(63) – накапливают подстилки менее кислые, чем сосновые – разрезы 46(63), 84(63).

Поглощенные основания в значительном количестве накапливаются в горизонтах A_0 и A_1. В горизонте A_2 содержание поглощенных оснований во всех почвах резко уменьшается и составляет 3–5 мг-экв на 100 г почвы. В нижележащей части почвенного профиля происходит увеличение содержания обменных оснований. Иллювиальное накопление поглощенных основа-

ний в этих почвах не выражено. Количество их в почвообразующей породе почти всегда меньше, чем в аккумулятивных горизонтах.

Содержание гумуса уменьшается в почвах от сосняков зеленомошно-ягодниковых к соснякам разнотравным и березнякам разнотравным. Всем им свойственно высокое содержание гумуса в A_1, с глубиной количество его падает, однако в горизонте A_2 составляет более 1%.

Почвы сосновых лесов предлесостепной подзоны

В связи с особенностями геологического строения Южного Урала в пределах подзоны сосново-березовых лесов условия почвообразования очень разнообразны.

Морфологию почв основных типов сосновых лесов, наиболее широко представленных на изученной территории, рассмотрим на примере нескольких разрезов, отличающихся по высоте местности и свойствам почвообразующих пород: кислые – разрезы 2(72), 1(73), 2(73) и основные – разрезы 22(72), 23(72), 8(73), 3(68), 8(68), 13(73).

Разрез 2(72) заложен в верхней трети пологого (2–3°) склона западного побережья оз. Аргази. Высота 270–280 м над ур.м. Сосняк с примесью березы, ягодниковый.

A_0 0–1 см	Неразложившийся опад сосны и березы.
A_1 1–9 см	Серая пылеватая слабоуплотненная супесь, много мелких корней. переход резкий, неровный.
B 9–40 см	Бурая плотная бесструктурная супесь, встречаются мелкие корни, много дресвы. Переход постепенный.
CD 40–50 см	Светло-бурый, дресвяный, рыхлый, много обломков породы (гранодиорит), зерна породы сильно ожелезнены.

Разрез 1(73) заложен под пологом сосняка разнотравного (7С3Б) в 2 км от дер. Увильды, на всхолмленной равнине.

A_0A_1 0–3 см	Подстилка, в верхней неразложившейся части состоит из опада сосны и березы, нижняя часть подстилки темно-бурого цвета, средней степени разложения.
A_1 3–14 см	Темно-серый легкий суглинок мелкокомковатой структуры, густо пронизан корнями растений. Переход четкий.
A_2B 14–23 см	Серо-бурый рыхлый средний суглинок, уплотнен, много корней. Переход постепенный.
B_1 23–45 см	Серо-бурый средний суглинок ореховатой структуры, очень плотный, включения горной породы. Переход постепенный.
B_2 45–66 см	Бурый тяжелый суглинок, плотный, крупнооореховатой структуры, по излому структурных отдельностей – ржавые пятна и затеки.
BC 66–100 см	Серо-бурый легкий суглинок (серые пятна за счет чешуек слюды), бесструктурный, включения горной породы.

Разрез 2(73) заложен в сосняке липняковом (9С1Б, во втором ярусе – липа, подрост из сосны и березы, в подлеске рябина) на холмистой равнине с выходами гранитов.

A_0' 0–4 см	Рыхлая слаборазложившаяся подстилка, состоящая из опада сосны, березы, липы.
A_0'' 4–9 см	Рыхлая бурая подстилка средней степени разложения.
A_1 9–16 см	Темно-серая рыхлая супесь мелкокомковатой структуры, густо пронизана корнями растений. Переход постепенный.

A_2B 16–28 см	Серо-палевая бесструктурная супесь, слегка уплотненная, встречаются корни. Переход постепенный.
B 28–41 см	Желтовато-палевая супесь. Переход четкий.
BC 41–83 см	Бурый очень плотный тяжелый суглинок крупнооореховатой структуры, с включениями мелкой дресвы.
CD 83–106 см	Светло-бурый тяжелый суглинок, много мелкой дресвы и гнезд сильно выветрившейся породы.

Разрез 23(72) заложен в верхней части склона сопки, на западном побережье оз. Аргази. Высота 450 м над ур. м. Сосняк с березой разнотравный. В напочвенном покрове – вейник, герань лесная, тысячелистник, костяника, ракитник, купена лекарственная.

A_0 0–1 см	Слаборазложившаяся подстилка.
A_1 1–5 см	Бурый с серым оттенком средний суглинок ореховато-зернистой структуры. Переход заметный.
B 5–22 см	Светло-бурый с зеленоватым оттенком средний суглинок, пылевато-мелкокомковатый. Переход постепенный.
CD 22–40 см	Зеленовато-бурый мелкозем среди крупных обломков элюво-делювия серпентинита.

Разрез 8(73) заложен к востоку от с. Тыелга, в верхней трети склона западной экспозиции. Сосняк ягодниковый 9С1Б. Обильное возобновление сосны.

A_0' 0–3 см	Неразложившийся опад сосны.
A_0'' 3–7 см	Подстилка среднеразложившаяся.
A_0A_1 7–11 см	Темно-серый тяжелый суглинок зернисто-комковатой структуры, много корней, крупных обломков горной породы.
A_1A_2 11–17 см	Буровато-серый с белесой присыпкой рыхлый тяжелый суглинок зернисто-комковатой структуры, много корней. Переход нечеткий из-за присутствия крупных камней породы.
A_2B 17–25 см	Серовато-палевый тяжелый суглинок комковатой структуры, много обломков горной породы, содержит корни.
B_1 25–48 см	Палево-бурая глина мелкоореховато-комковатой структуры, много обломков горной породы. Переход четкий.
BC 48–75 см	Бурая глина с мелкой дресвой (сланец зеленокаменный).

Разрез 3(68) характеризует почву сосняка зеленомошно-ягодникового (состав древостоя 7С2Б1Лп). Разрез заложен в средней трети покатого склона западной экспозиции (Тургоякское лесничество). Высота 550 м над ур. м.

A_0' 0–2 см	Слаборазложившаяся подстилка.
A_0'' 2–3 см	Разложившаяся подстилка.
A_1 3–7 см	Темно-серый влажный средний суглинок мелкокомковатой структуры.
A_1A_2 7–17 см	Серый с белесоватым оттенком легкий суглинок, много дресвы, уплотнен.
B 17–43 см	Бурый средний суглинок с белесоватой присыпкой по граням отдельностей, много обломков горной породы.
BC 43–68 см	Красновато-бурый мелкозем среди обломков горной породы (змеевик).

Разрез 8(68) заложен в Тургоякском лесничестве к юго-востоку от пос. Новотагилка под пологом сосняка разнотравного II бонитета. Нижняя треть склона, абсолютная высота местности 360 м над ур. м.

A_0 0–2 см	Среднеразложившаяся подстилка.
A_1 2–15 см	Темно-серый комковатый рыхлый средний суглинок. Переход постепенный.

Таблица 17

Механический состав почв сосновых лесов Южного Урала

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Содержание частиц, %; диаметр фракций, мм						
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
1 (73)	A_1	3–14	16,6	26,3	24,2	9,4	16,5	7,0	25,9
	A_2B	14–23	16,5	34,9	16,2	9,9	13,6	8,9	32,4
	B_1	30–40	14,8	34,7	17,3	4,4	13,3	15,5	33,2
	B_2	50–60	13,8	31,2	13,0	3,0	12,5	26,5	42,0
	BC	80–90	12,8	41,4	17,4	1,4	9,2	17,8	28,3
2 (73)	A_1	10–15	30,5	37,6	14,7	5,9	6,8	4,5	17,2
	A_1B	20–25	32,5	12,2	40,7	3,5	7,4	3,7	14,6
	B	30–40	26,6	49,1	10,0	4,5	5,5	4,3	14,3
	BC	50–60	17,1	34,4	7,3	6,6	9,0	25,6	41,2
	CD	95–105	23,5	32,6	6,4	4,8	8,1	24,6	37,5
8 (73)	A_0A_1	7–11	8,0	18,7	22,3	13,4	14,9	22,7	51,0
	A_1A_2	11–17	12,4	12,3	32,6	12,7	15,9	14,1	42,7
	A_2B	20–25	16,9	8,3	36,5	11,2	14,6	12,5	38,3
	B_1	30–40	11,6	2,9	27,4	12,8	11,9	33,4	58,1
	B_2	50–60	14,0	13,9	17,1	4,5	9,2	41,3	55,0
	BC	70–75	16,7	14,5	18,2	5,2	10,5	35,9	51,6

A_1B 15–26 см Бурый с серым оттенком средний суглинок комковатой структуры.

A_2 26–34 см Белесовато-светло-серый комковатый легкий суглинок.

B 34–67 см Красновато-бурый с глянцем тяжелый суглинок крупнооореховатой структуры, плотный, вертикальнотрещиноватый, черно-бурые пленки коллоидов по трещинам, корни распределяются по трещинам до глубины 80 см, крупные – до 35 см, встречаются включения горной породы.

BC 67–80 см Буровато-желтый средний суглинок с обилием выветрившейся породы (элювий змеевика)

Итак, лесные почвы Южного урала имеют мощность не более 1 м.

На поверхности почв образуются, как правило, маломощные (1–2 см) слаборазложившиеся подстилки. Лишь в сосняках липняковых и ягодниковых мощность их может достигать 9 см. Гумусовый горизонт темно-серой или серой окраски выражен отчетливо и имеет мощность около 10 см. Оподзоленность морфологически слабо выражена. На выровненных участках или в нижней трети пологих склонов при мощности мелкоземистой толщи 80–100 см в профиле почв выделяется серовато-бурый горизонт A_2B (6–10 см), и только в почвах, развитых на змеевиках, хорошо выражен собственно подзолистый горизонт A_2.

По механическому составу (табл. 17) почвы рассматриваемой территории разнообразны. Как правило, более легким механический состав имеют почвы, развитые на кислых породах, и более тяжелый – развитые на элювии основных пород. Горный характер местности определяет и многие особенности изменения механического состава по профилю, что в значительной

Таблица 18

Химический состав почв сосновых лесов Южного Урала на кислых и основных породах

№ разреза	Глубина, см	Горизонт	pH		Кислотность по Соколову, мг-экв на 100 г почвы		
			солевой	водный	$H^{\cdot}$	$Al^{\cdots}$	$H^{\cdot}+Al^{\cdots}$
			Кислые породы				
2 (72)	1–9	A_1	4,8	5,7	0,2	0,2	0,4
	15–25	B	4,5	5,2	0,2	0	0,2
	40–50	CD	4,8	5,7	0,1	0,1	0,2
1 (73)	3–14	A_1	4,6	Не опр.	0,1	0,1	0,2
	14–23	A_2B	4,3	”	0	0,1	0,1
	30–40	B_1	4,1	”	0	0,2	0,2
	50–60	B_2	3,9	”	0	0,2	0,2
	80–90	BC	4,4	”	0	0,2	0,2
2 (73)	4–8	A_0''	4,5	5,2	0,3	0,4	0,7
	10–15	A_1	5,2	5,9	0	0,1	0,1
	20–25	A_2B	4,6	5,4	0	0,1	0,1
	30–40	B	4,9	5,9	0	0,1	0,1
	50–60	BC	4,3	5,6	0	0,2	0,2
	95–105	CD	4,5	6,1	0	0,1	0,1
			Основные породы				
23 (72)	1–5	A_1	5,3	6,1	Не определялось		
	5–15	B	5,5	6,6	”		
	25–35	CD	5,5	6,5	”		
8 (73)	0–3	A_0'	4,1	5,2	1,7	0,7	2,4
	3–7	A_0	4,3	5,2	1,0	0,8	1,8
	7–11	A_0A_1	4,4	5,3	0,2	0,3	0,5
	11–17	A_1A_2	4,1	4,9	0,1	0,5	0,6
	20–25	A_2B	4,6	5,3	0	0,1	0,1
	30–40	B_1	4,9	5,3	0	0,1	0,1
	50–60	BC	5,0	6,3	0	0,1	0,1
	70–75	BC	5,1	6,5	0	0,1	0,1
3 (68)	0–2	A_0'	4,8	5,7	Не определялось		
	2–3	A_0''	5,1	5,9	”		
	3–7	A_1	5,2	6,0	”		
	8–15	A_1A_2	4,8	5,6	”		
	30–40	B	5,6	6,7	”		
	60–68	BC	5,4	6,5	”		
8 (68)	2–15	A_1	5,4	6,3	”		
	15–25	A_1B	5,6	6,4	”		
	27–33	A_2	5,5	6,5	”		
	43–53	B	5,7	6,9	”		
	70–75	BC	6,0	7,0	”		

Поглощенные основания, мг-экв на 100 г почвы			Гумус по Тюрину, %	P_2O_5 по Кирсанову	K_2O по Пейве
$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}+Mg^{\cdot\cdot}$		мг на 100 г почвы	
			Кислые породы		
18,5	5,5	24,0	9,7	4,4	10,0
3,0	3,0	6,0	1,1	4,3	5,0
2,5	0	2,5	0,5	2,5	5,0
20,6	8,9	29,5	6,0	7,8	6,7
4,4	1,0	5,4	5,4	13,6	6,7
2,9	5,9	8,8	0,7	3,0	6,7
6,1	4,9	11,0	0,4	2,4	6,7
5,1	7,1	12,2	0,5	1,3	7,6
34,4	10,8	45,2	Не опр.	10,8	12,6
17,7	10,8	28,5	3,7	13,4	7,6
3,7	2,0	5,6	0,9	16,9	4,7
4,2	2,7	6,9	0,4	19,0	7,6
12,5	5,4	17,9	0,5	11,5	7,6
8,3	6,9	15,2	0,4	19,7	9,5
			Основные породы		
30,0	21,5	51,5	13,9	2,0	10,0
15,5	20,0	35,5	7,3	1,6	6,7
12,5	24,0	36,5	5,5	0,6	0
7,0	26,9	33,9	Не опр.	17,6	72,0
12,3	40,9	53,2	”	13,2	50,0
7,9	26,0	33,9	22,9	5,2	30,0
3,1	9,2	13,3	5,1	2,0	4,7
1,3	8,7	10,0	1,3	1,4	4,7
2,2	19,3	21,5	1,0	0,7	6,3
1,7	28,5	30,2	1,2	1,3	5,0
2,6	24,4	27,0	0,9	2,7	5,0
28,0	29,0	57,0	Не опр.	4,5	18,3
29,0	27,0	56,0	”	4,6	16,7
15,0	20,0	35,0	11,9	1,6	8,0
3,0	15,0	18,0	3,3	0,6	5,5
5,5	29,5	35,0	2,1	0,2	7,3
–	–	27,2	1,8	Не опр.	8,8
19,0	18,0	37,0	11,5	5,2	7,3
9,0	11,0	20,0	2,4	4,5	Не опр.
7,0	13,0	20,0	1,2	Не опр.	”
7,5	20,5	28,0	0,5	4,1	5,5
4,5	15,5	20,0	0,8	3,2	5,0

4. Зак. 812

степени затрудняет решение вопроса о влиянии почвообразовательных процессов на дифференциацию почв по механическому составу. Поскольку распределение ила по профилю – один из диагностических признаков почв, рассмотрим изменение его содержания в изученных почвах.

В профиле оподзоленных почв (разрезы 1(73), 8(73)) наряду с элювиальным выражен иллювиальный горизонт. Содержание ила в оподзоленной части профиля остается высоким (9–12%). Почвы нижних частей склонов (разрез 2(73)) часто имеют сложное строение, наблюдается чередование элювиев разного механичесокго и химического состава, что обусловливает двучленность строения профиля. В рассматриваемом разрезе супесь подстилается тяжелым суглинком. В пределах верхней 40-сантиметровой толщи, по существу являющейся в горных условиях самостоятельным почвенным профилем, наблюдается незначительный вынос ила на глубине 16–28 см, тогда как содержание физической глины постепенно уменьшается от верхних горизонтов к нижним.

Определение pH в горно-лесных почвах Южного Урала (табл. 18) показывает, что его величина в верхних горизонтах значительно определяется особенностями лесной растительности, а в нижних – составом почвообразующих пород. Величина pH (сол.) колеблется в подстилках от 4,1 до 5,1. Наименьшую кислотность имеет подстилка сосновых лесов с липой (разрез 3(68)). В почвообразующих кислых породах pH (сол.) колеблется от 4,4 до 4,8, а на основных – от 5,1 до 6,0. В почвах, сформированных на основных породах, кислотность с глубиной уменьшается, а в сформированных на кислых породах – в большинстве случаев увеличивается. Увеличение кислотности наблюдается в оподзоленной части профиля. Обменная кислотность в большинстве почв на основных породах не обнаружена. В отдельных разрезах она выявлена лишь в верхних горизонтах и связана здесь преимущественно с водородом. В почвах на кислых породах обменная кислотность достигает небольших величин и обусловлена алюминием.

Различаются сравниваемые почвы и по содержанию поглощенных оснований. Почвы на основных породах содержат значительно больше поглощенных оснований и в составе их магний доминирует над кальцием. Наибольшее содержание обменных оснований соответствует аккумулятивным горизонтам. Вниз по профилю в неполноразвитых и неоподзоленных почвах содержание обменных оснований постепенно падает, а в оподзоленных почвах отчетливо выражен элювиальный горизонт. Аналогичная закономерность наблюдается в распределении содержания поглощенных оснований по профилю почв на кислых породах с тем лишь отличием, что в них абсолютное содержание поглощенных оснований значительно ниже и кальций преобладает над магнием. В подстилках наибольшее влияние на накопление оснований оказывает липа (разрезы 3(68), 2(73)).

Рассматриваемые почвы характеризуются высоким накоплением гумуса. В горизонте A_1 изученных почв его содержание составляет 4–12%. Более высокой гумусностью отличаются маломощные неполноразвитые почвы. Отличительная особенность горных почв – растянутый гумусовый профиль.

Подвижный фосфор накапливается в рассматриваемых почвах лишь в органогенных горизонтах. Его содержание резко уменьшается в почвообразующей породе; исключение представляет элювий гранита (подвижного фосфора около 20 мг на 100 г почвы). Влияние породы, богатой фосфором,

проявляется опосредованно через растительность. В подстилках почв, сформированных на этих породах, наблюдается наибольшее содержание фосфора.

Подвижного калия содержится в лесных почвах Южного Урала значительно больше, чем фосфора. Распределение калия по профилю также свидетельствует о его биогенном накоплении.

Подводя итог характеристики почвенных условий произрастания сосны на Урале, следует отметить, что в почвенном покрове Урала под сосновыми лесами доминируют бурые горно-лесные почвы. Они представлены здесь бурыми горно-лесными неполноразвитыми (примитивными), бурыми типичными (неоподзоленными) и бурыми оподзоленными почвами. В верхних высотных подпоясах таежной зоны сосновые леса встречаются и на горных собственно подзолистых почвах, а в южной тайге – на дерново-палево-подзолистых почвах. Несмотря на одинаковую направленность почвенных процессов, приводящую к формированию под сосновыми лесами бурых горно-лесных почв, они отличаются по химическому составу, что обусловлено типологическим разнообразием сосновых лесов и особенностями проявления элементарных почвенных процессов в зависимости от экологических условий.

Полученные нами данные в общем согласуются с известными представлениями о почвах сосновых лесов в горах. Например, в Закавказье сухие боры [Махатадзе, Сванидзе, 1968а] развиты на примитивных скальных светло-бурых лесных, а сосняки-черничники – на маломощных светло-бурых, часто с признаками оподзоливания почвах. На Енисейском кряже [Горбачев, 1967] сосняки-черничники приурочены к горным маломощным собственно-подзолистым, а также к кислым дерновым лесным почвам, разнотравно-брусничные – к горным дерново-подзолистым, а сосняки разнотравные – к нейтральным почвам. В Забайкалье [Михайленко, 1967) сосняки брусничные распространены на горных примитивно-аккумулятивных почвах, сосняки остепненные – на горных дерновых лесных обыкновенных, а разнотравно-брусничные – на горных дерновых лесных оподзоленных почвах, сосняки рододендроново-брусничные – на дерново-подзолистых иллювиально-железистых почвах. Приведенные примеры показывают, что положение той или иной горной системы определяет набор представленных почв. Однако сопоставление аналитических данных показывает, что рассматриваемые почвы отличаются не столько по сути формирующих их процессов, сколько по терминологии.

Очевидно, доминирующим процессом почвообразования в горах под сосновыми лесами нужно считать буроземообразование, которое возможно при равновесии между выносом и поступлением веществ независимо от того, обеспечивается оно горной породой (литогенное буроземообразование) или в большей степени жизнедеятельностью растений (биогенное буроземообразование). Бурые лесные почвы на равнинах встречаются преимущественно под широколиственными лесами, высокозольный опад которых обеспечивает равновесие между поступлением элементов и их выносом. Там, где происходит постоянное обогащение почв в процессе выветривания первичных минералов, почвы буроземного типа могут формироваться и под хвойными лесами. Климатические условия определяют интенсивность процессов выветривания и разложения органического вещества, а также

перераспределение продуктов почвообразования. Несомненно, эти процессы идут на Кавказе более интенсивно, чем на Урале. Однако на Кавказе больше "возможность" выноса высвобождающихся в процессе выветривания и почвообразования продуктов вследствие высокого количества выпадающих осадков. На Урале их меньше, а следовательно, меньше должно выноситься элементов с осадками из почвенного профиля. Не менее важную роль играет окислительно-восстановительный режим почвообразования. Буроземообразование поддерживается в том случае, если окислительные процессы в почве преобладают над восстановительными, поскольку в противном случае железо, превращаясь в закисные формы, становится подвижным и выносится в нижние горизонты почвенного профиля. Полученные нами данные в согласии с имеющимися в литературе показывают, что именно железу, а не кальцию принадлежит главенствующая роль в закреплении гумусовых веществ и других продуктов почвообразования в бурых лесных почвах.

Глава III

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ХВОИ СОСНЫ

Хвоя, как отмечал Л.Ф.Правдин [1974], это самый чувствительный орган, быстро реагирующий на условия окружающей среды и определяющий рост и развитие других органов растения. Существование тесной связи между концентрацией физиологически важных элементов в ассимилирующей ткани растения, его развитием и ростом позволяет использовать листовой анализ как один из показателей обеспеченности растений питательными элементами.

Этот метод, известный как листовая диагностика, широко используется в сельском хозяйстве и ограниченно применяется в лесохозяйственной практике. К настоящему времени, однако, накоплен значительный материал, характеризующий зольный состав хвои и листьев лесной растительности [Зражевский, Крот, 1955; Портгасаар, 1966а, б; Рийспере, 1966; Кошельков, 1967; Чекалова, 1967; Мусорок, 1970; Lundegardh, 1951; Tamm, 1956; 1964; Wehrmann, 1959; Heinsdorf, 1967; и др.]. Этими исследованиями установлено, что содержание зольных элементов подвержено значительным колебаниям в зависимости не только от природных условий произрастания растений, но и от положения хвои или листьев в кроне деревьев [Ogdon, 1964], от возраста хвои [Ремезов и др., 1959; Паршевников, 1959; Марченко, Карлов, 1962; Ingestad, 1963; и др.] и от срока вегетации [Щербаков, Туркова, 1956; Смирнов, Кузьмина, 1966; Höhne, 1964; Miller, 1966].

По содержанию химических элементов в зеленых ассимилирующих частях растений судят также о типе биологического круговорота веществ [Ремезов, 1953, 1956; Ремезов и др., 1959; Мина, 1955; Надеждин, 1957; Рожнова, Счастная, 1959; Пьявченко, 1960; Паршевников, 1962; Марченко, Карлов, 1962; Зонн, 1964; Родин, Базилевич, 1965; Руднева и др., 1966; Абатуров, 1966; Манаков, 1968; Малянчинов, 1970; Кылли, 1971]; эти

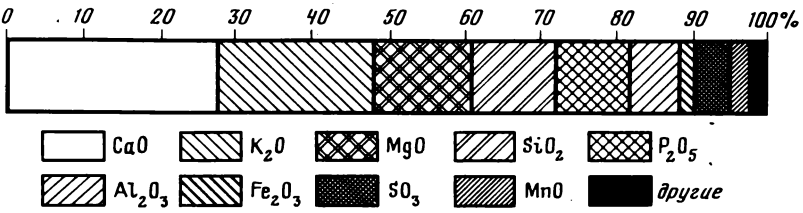


Рис. 1. Структура зольного вещества хвои сосны

данные также используют при изучении экологии растений и выяснении закономерностей внутривидовой изменчивости [Обновленский, 1951; Мамаев, 1970; и др.].

Химический анализ хвои сосны разных ареалов (табл. 19) показывает, что преобладающими элементами являются азот, кальций, калий, однако их абсолютное содержание колеблется значительно, например содержание кальция – от 0,29 до 1,31%, а калия от 0,08 до 0,56%.

Для обстоятельного сравнительного анализа зольного состава хвои сосны разных ее ареалов в литературе данных еще недостаточно. Поэтому отметим лишь некоторые отличия химического состава хвои для отдельных горных областей (северных и южных). Повсеместно преобладают азот и кальций, только в хвое сосны на Карельском перешейке [Рожнова, 1963; Говоренков, 1972] калия больше, чем кальция (см. табл. 19).

Изучение химического состава хвои сосны, произрастающей на Урале в пределах таежной зоны (при $n = 31$), показывает, что в наибольшем количестве аккумулируются в хвое азот и кальций, причем количество азота в 2–2,5 раза превышает кальций (табл. 20; см. табл. 19). Элементы по убыванию содержания можно расположить в следующий ряд: $N > Ca \geqslant K > Mg > Si > P, Al > S, Fe, Mn$.

Зольность хвои сосны на Урале колеблется от 2,10 до 2,91%, а содержание азота – от 1,14 до 1,60% (рис. 1; см. табл. 20). Среди зольных элементов в химическом составе хвои доминирует CaO – около 30%, а в сумме с K_2O – около 50% (I группа элементов по преобладанию). Значительно меньше (II группа) содержится MgO, P_2O_5, SiO_2, Al_2O_3, каждый из которых составляет около 10%. Порядок их в ряду накопления часто меняется. В III группу могут быть объединены SO_3, Fe_2O_3 и MnO, которые в сумме составляют около 10%. Эти элементы неизменно занимают в разной последовательности в ряду накопления три последних места. Наименьшие колебания в химическом составе хвои сосны обнаружены по содержанию элементов I группы: коэффициент вариации (v) равен, %: для кальция – 9, для калия – 12. Бо́льшим колебаниям подвержено содержание элементов II группы: коэффициент вариации кремния – 14%, фосфора – 17, алюминия – 22, магния – 16%. Еще бо́льшие колебания наблюдаются для элементов III группы: коэффициент вариации для серы – 29%, для железа – 30, марганца – 36%.

Хвоя сосны на Урале отличается более высоким содержанием азота, чем на Кольском полуострове [Манаков, 1961] и в Прибайкалье [Бейдеман и др., 1969], меньшим, чем в хвое сосны в горах Кавказа [Кашибадзе, Тараса-

Таблица 19

Химический состав хвои сосны различных местообитаний, % на абс. сухое вещество

Район исследования	N	Si	Al	Fe	Ca
Карелия	1,45	0,05	0,03	0,10	0,29
	Не опр.	0,21	0,12	0,02	0,38
Кольский полуостров	0,80	0,04	0,05	0,01	0,34
Прибайкалье	0,75	0,02	0,02	0,001	0,47
Кавказ	1,80	0,21	0,10		1,31
Южный Урал	1,48	0,10	0,12	0,05	0,59
	1,34	0,11	0,10	0,06	0,63
	1,52	0,11	0,11	0,05	0,59
Средний Урал	1,34	0,12	0,08	0,04	0,48

Таблица 20

Химический состав хвои сосны

№ разреза	Тип сосняка	Зольность, %	N	Si	Al
1	2	3	4	5	6
	Северо- и среднетаежная подзоны				
6 (66)	Бруснично-багульниковый	2,61	1,46	7,39*/0,09	6,28/0,09
17 (66)	Зеленомошно-ягодниковый	2,70	1,48	6,97/0,09	5,86/0,08
14 (69)	То же	2,35	1,47	6,83/0,07	7,11/0,09
15 (69)	"	2,77	1,50	9,12/0,12	5,32/0,08
16 (69)	Крупнотравный	2,91	1,38	8,47/0,12	6,12/0,09
	Южнотаежная подзона				
15 (67)	"	2,49	1,34	9,41/0,11	7,18/0,09
25 (67)	Брусничный	2,54	1,23	11,12/0,13	6,46/0,08
26 (67)	Разнотравный	2,23	1,34	13,86/0,14	6,18/0,07
29 (67)	"	2,23	1,42	10,11/0,10	8,34/0,09
31 (67)	"	2,19	1,33	8,61/0,09	7,52/0,08
32 (67)	Брусничный	2,18	1,20	11,32/0,12	9,24/0,10

Mg	Mn	P	K	S	Автор
0,13	Не опр.	0,15	0,56	Не опр.	Говоренков, 1972
0,16	"	0,08	0,44	0,44	Рожнова, 1963
0,08	0,08	0,04	0,27	0,03	Манаков, 1961
0,12	Не опр.	0,08	0,08	0,05	Бейдеман и др., 1969
0,29	"	0,10	Не опр.	0,27	Кашибадзе, Тарасашвили, 1967
0,16	"	0,07	0,42	Не опр.	Абатуров, 1966
0,19	"	0,09	0,43	"	"
0,17	"	0,10	0,43	"	"
0,18	0,04	0,10	0,41	0,04	Данные авторов ($n = 31$)

Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
7	8	9	10	11	12	13
Северо- и среднетаежная подзоны						
2,82/0,05	28,06/0,52	11,26/0,18	–	16,11/0,18	23,12/0,50	–
2,48/0,05	27,84/0,54	13,34/0,22	–	15,63/0,18	21,49/0,50	–
2,23/0,03	25,08/0,42	15,63/0,22	–	17,20/0,17	21,73/0,42	5,99/0,05
2,54/0,05	25,71/0,51	12,75/0,21	–	15,24/0,18	20,72/0,47	4,35/0,05
1,60/0,03	24,41/0,30	11,20/0,19	–	14,04/0,18	20,80/0,50	10,18/0,12
Южнотаежная подзона						
1,26/0,02	35,69/0,64	9,15/0,14	2,25/0,05	12,03/0,13	20,02/0,41	2,03/0,02
1,43/0,03	28,54/0,51	10,11/0,15	2,78/0,05	10,44/0,11	21,57/0,46	7,11/0,07
1,83/0,03	30,04/0,48	12,18/0,16	2,12/0,04	5,84/0,06	23,11/0,42	4,08/0,04
1,46/0,02	29,34/0,46	15,25/0,20	3,12/0,05	10,06/0,09	19,38/0,36	2,48/0,02
2,19/0,03	32,34/0,51	12,72/0,17	4,40/0,07	10,34/0,10	17,18/0,31	2,37/0,02
3,42/0,05	28,38/0,44	10,11/0,13	2,14/0,04	6,50/0,06	24,11/0,43	2,36/0,02

Таблица 20 (окончание)

1	2	3	4	5	6
36 (67)	Ягодниковый	2,17	1,20	13,72/0,14	6,23/0,07
40 (67)	Зеленомошно-ягодниковый	2,64	1,42	8,90/0,11	5,73/0,08
41 (67)	Ягодниковый	2,74	1,28	10,22/0,13	5,28/0,07
	Подзона предлесостепных сосново-березовых лесов				
2 (68)	Разнотравный	2,34	1,34	12,11/0,13	6,38/0,08
3 (68)	Зеленомошно-ягодниковый	2,24	1,27	14,10/0,14	2,64/0,03
4 (68)	То же	2,36	1,40	11,04/0,12	7,14/0,09
5 (68)	Брусничный	2,39	1,24	12,30/0,13	4,32/0,05
6 (68)	Ягодниковый	2,42	1,19	11,47/0,13	6,24/0,08
7 (68)	Разнотравный	2,50	1,38	13,38/0,15	7,41/0,09
8 (68)	”	2,10	1,33	14,85/0,14	5,03/0,05
18 (68)	”	2,58	1,39	9,94/0,12	5,12/0,07
20 (68)	Брусничный	2,00	1,08	11,49/0,11	6,48/0,07
22 (68)	Разнотравный	2,19	1,43	8,61/0,09	7,52/0,08
23 (68)	”	2,47	1,41	9,07/0,10	10,11/0,13
25 (68)	”	2,09	1,60	11,23/0,11	8,33/0,09
30 (68)	Брусничный	2,41	1,20	11,91/0,13	9,42/0,12
31 (68)	Ягодниковый	2,18	1,36	15,22/0,15	6,84/0,08
32 (68)	Разнотравный	2,09	1,43	11,93/0,12	8,63/0,09
33 (68)	Брусничный	2,30	1,14	14,03/0,15	7,71/0,08
9 (68)	”	2,10	1,24	13,22/0,13	4,50/0,05

* В числителе — % в окислах на чистую золу; в знаменателе — % в элементах на абс. сухую навеску.

7	8	9	10	11	12	13
2,06/0,03	27,51/0,43	15,32/0,20	4,37/0,07	7,41/0,07	18,08/0,32	2,48/0,02
2,70/0,05	30,73/0,58	11,31/0,18	1,47/0,03	6,95/0,08	19,62/0,43	1,89/0,02
2,59/0,05	27,67/0,54	14,47/0,23	3,38/0,07	8,34/0,10	23,31/0,53	2,42/0,03
Подзона предлесостепных сосново-березовых лесов						
2,48/0,04	35,04/0,57	16,21/0,23	1,84/0,03	5,00/0,05	18,32/0,36	2,38/0,02
1,94/0,03	30,40/0,48	19,40/0,26	2,51/0,05	5,94/0,06	18,01/0,33	3,50/0,03
1,47/0,02	23,78/0,40	17,33/0,25	–	7,52/0,08	20,84/0,41	6,91/0,06
2,17/0,03	23,90/0,41	22,65/0,32	2,07/0,04	5,08/0,05	20,71/0,41	4,21/0,04
1,77/0,03	31,20/0.54	10,28/0,15	2,67/0,05	9,47/0,10	21,41/0,43	4,12/0,04
3,42/0,06	24,46/0,44	16,46/0,25	2,13/0,04	7,01/0,07	20,12/0,41	3,70/0,04
1,92/0,03	28,63/0,43	10,33/0,13	1,14/0,01	7,91/0,07	20,41/0,36	5,89/0,05
2,22/0,04	33,61/0,62	10,93/0,17	1,50/0,03	7,11/0,08	20,54/0,44	0,93/0,02
2,41/0,03	25,19/0,36	15,45/0,19	2,89/0,05	8,93/0,08	23,34/0,39	2,44/0,02
2,19/0,03	32,34/0,51	12,72/0,17	4,40/0,07	10,34/0,10	17,18/0,31	2,37/0,02
1,69/0,03	22,74/0,40	12,65/0,19	4,96/0,09	11,61/0,13	21,34/0,36	3,91/0,04
3,11/0,04	24,54/0,36	11,65/0,14	1,60/0,02	10,32/0,09	24,14/0,36	2,21/0,02
1,35/0,02	29,87/0,51	15,31/0,22	5,50/0,10	8,56/0,09	15,03/0,30	2,92/0,03
2,31/0,03	25,16/0,39	11,34/0,15	2,14/0,04	14,75/0,14	14,80/0,26	6,12/0,05
2,22/0,03	26,14/0,39	17,17/0,22	2,17/0,03	9,56/0,09	18,11/0,31	2,51/0,02
2,70/0,03	29,83/0,39	10,07/0.15	5,52/0,04	8,01/0,14	16,08/0,26	3,39/0,05
2,04/0,03	34,74/0,44	9,47/0,12	0,60/0,01	7,64/0,07	22,07/0,35	5,81/0,05

Таблица 21

Сравнительная характеристика химического состава хвои сосны северной и южной границы ее распространения на Урале

Подзона	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность, %	N	Si
Северная тайга	5	$\bar{x}$	2,67	1,44	0,10
		σ	0,25	0,09	0,02
Предлесостепная подзона	5	$\bar{x}$	2,60	1,43	0,11
		σ	0,02	0,07	0,02
		td	0,6	0,2	0,7

* В этой и последующих таблицах подчеркнутые цифры означают, что различия достоверны; x — среднее содержание, σ — среднеквадратическое отклонение; td — критерий достоверности по Стьюденту.

Таблица 22

Классификация обеспеченности сосны элементами питания

Элемент	По Верману		По Ингестаду	
	недостаток	высшая продуктивность	диапазон умеренного недостатка	диапазон оптимума
N	0,70–1,60	1,80–3,20	1,10–2,40	2,40–3,00
P	0,06–0,10	0,20–0,30	0,08–0,15	0,15–0,40
K	0,30–0,45	0,55–0,90	0,44–0,90	0,90–1,60
Ca	0,05	0,05–0,24	0,03–0,04	0,04–0,30
Mg	0,05–0,09	0,06–0,13	0,05–0,12	0,12–0,18
S	0,006–0,007	0,02	0,06–0,20	0,20–0,25

швили, 1967], и близким содержанием азота к таковому в хвое сосны, произрастающей в Карелии [Говоренков, 1972]. Максимальным содержанием кальция отличается сосновая хвоя в Грузии. В хвое сосны на Урале его вдвое меньше, чем на Кавказе, столько же, сколько в хвое сосны в Прибайкалье [Бейдеман, Гагарин, 1969], и больше, чем в хвое Карелии и на Кольском полуострове (см. табл. 19).

Таким образом, на основе сравниваемых данных наиболее четко прослеживается закономерное увеличение содержания кальция в хвое сосны обыкновенной по мере распространения ее к югу. Эта закономерность отмечена Л.Е.Родиным и Н.И.Базилевич.[1965]. Поскольку собранный нами материал характеризует химический состав хвои сосны в широком диапазоне природных условий (от северной тайги до предлесостепной подзоны), была сделана попытка установить характер изменения состава золы хвои в пределах всей таежной зоны Урала, протягивающейся с севера на юг от 62 по 55° с.ш., т.е. приблизительно на 700 км. Для лучшей сопоставимости данных сравнивали химический состав хвои сосны, растущей на горно-лес-

Al	Fe	Ca	Mg	P	K
0,08	0,04	0,46	0,20	0,18	0,48
0,01	0,01	0,09	0,02	0,01	0,03
0,07	0,05	0,60	0,17	0,08	0,43
0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
0,9	1,4	3,5*	2,7	16,6	3,1

ных бурых почвах, сформированных на элювии гранитов в разных подзонах (табл. 21).

Сгруппировав данные химического анализа хвои по "принципу подзоны", подсчитали среднее содержание ($\bar{x}$) каждого элемента в хвое сосны из каждой подзоны и вычислили критерии достоверности между ними по Стьюденту (*td*). Ожидаемого увеличения зольности хвои в предлесостепной подзоне не обнаружено. Содержание азота в хвое обеих подзон одинаковое. В предлесостепной зоне наблюдается достоверное увеличение (подтвержденное критерием по Стьюденту) содержания кальция и снижение количества фосфора.

Таким образом, наши исследования подтверждают имеющиеся в литературе наблюдения об увеличении содержания кальция в хвое сосны по мере ее распространения к югу. Это связано, вероятно, с общим увеличением количества кальция в ландшафтах предлесостепи за счет его большего поступления с опадом лиственных пород и разнотравья, отличающихся повышенным содержанием кальция по сравнению с северотаежными хвойными лесами, напочвенный покров которых представлен мхами и ягодниками. Кроме того, более высокая сухость климата в предлесостепной подзоне (индекс сухости в северной тайге – 0,59, в предлесостепи – 1,0 [Прокаев, 1976]) способствует большему накоплению кальция в почвенном профиле предлесостепных почв по сравнению с северотаежными.

Снижение количеств фосфора в хвое сосен в предлесостепной подзоне, по-видимому, также можно объяснить меньшей влажностью почв этой подзоны. Известно [Соколов, 1950], что поглощение растениями фосфора возрастает в более влажных условиях, так как возможность усвоения фосфора в почвах зависит от количества влаги: чем больше влаги, тем большее количество фосфора извлекается из одного и того же объема почвы. Кроме того, усвоение фосфора растениями зависит от почвенных форм фосфора и величины pH почвы. Вероятно, в предлесостепной подзоне в связи с общим увеличением количества кальция в ландшафтах кальциевые фосфаты преобладают над фосфатами полуторных окислов. Растворимость же фосфатов кальция наибольшая в кислой среде, в то время как почвы предлесостепи имеют слабокислую или близкую к нейтральной реакцию среды.

Оценивая химический состав хвои сосны Урала с точки зрения обеспеченности растения питательными веществами, мы воспользовались шкалой Вермана [Wehrmann, 1959] и Ингестада [Ingestad, 1963]. Эти авторы, исходя из содержания элементов в хвое и производительности древостоя, предложили критерии для характеристики обеспеченности сосны элементами питания (табл. 22).

Исходя из классификации Вермана, сосновые леса Урала испытывают недостаток в содержании азота, калия, фосфора и хорошо обеспечены кальцием, магнием и серой. Причем содержание кальция в хвое сосны на Урале в 2 раза превышает максимальные величины, установленные Верманом. Несколько бо́льшие величины оптимального содержания элементов в хвое, кроме фосфора, предлагает Ингестад. Согласно его классификации, сосновым лесам Урала не хватает азота, калия, серы, а в предлесостепной подзоне и фосфора. Кальций и магний содержатся в хвое в избытке. В связи с этим для улучшения условий питания сосновых лесов с целью повышения их производительности следует особое внимание обратить прежде всего на азотный режим почв. В калии и фосфоре, особенно в северной тайге, сосновые леса нуждаются значительно меньше.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ХВОИ СОСНЫ И ДРУГИХ ХВОЙНЫХ ПОРОД

Установлено, что хвоя различных пород, произрастающих даже на одних и тех же почвах, имеет разный химический состав [Ремезов и др., 1959; Родин, Базилевич, 1965; Смирнов, Кузьмина, 1966; Павлова, 1972; и др.].

Для выяснения отличия химического состава хвои сосны от других хвойных пород (кедр – Pinus sibirica, ель – Picea obovata) и, следовательно, специфики влияния опада сосны на почву проводилось сравнительное изучение хвои этих трех древесных пород. Совместно или в непосредственной близости они произрастают только в северотаежной подзоне Урала, поэтому сравнение зольного состава древесных пород проводилось на примере одной подзоны и в сходных лесорастительных условиях – ельниках, сосняках и кедровниках зеленомошно-ягодниковых (табл. 23).

Полученные данные (табл. 24; рис. 2) обработаны статистически. Нами использовалась небольшая выборка ($n = 3–8$), поэтому достоверность критерия Стьюдента (td) определяли при доверительной вероятности, равной 0,99.

Наибольшей зольностью среди сравниваемых древесных растений характеризуется хвоя ели; различия достоверны для хвои сосны и кедра, зольность хвои сосны и кедра несущественно разнятся между собой (табл. 25; см. рис. 2).

Среди определяемых элементов три первых места в рядах накопления занимают азот, кальций, калий. По содержанию кальция все три сравниваемых древесных растения резко различаются – разница в содержании достоверна (см. табл. 25) – и располагаются в таком порядке: ель > кедр > сосна. Наибольшее содержание калия наблюдается в хвое ели, затем в хвое сосны и кедра, но достоверна разница только между количеством калия в хвое ели и кедра. По содержанию кремния резко выделяется хвоя ели, в кото-

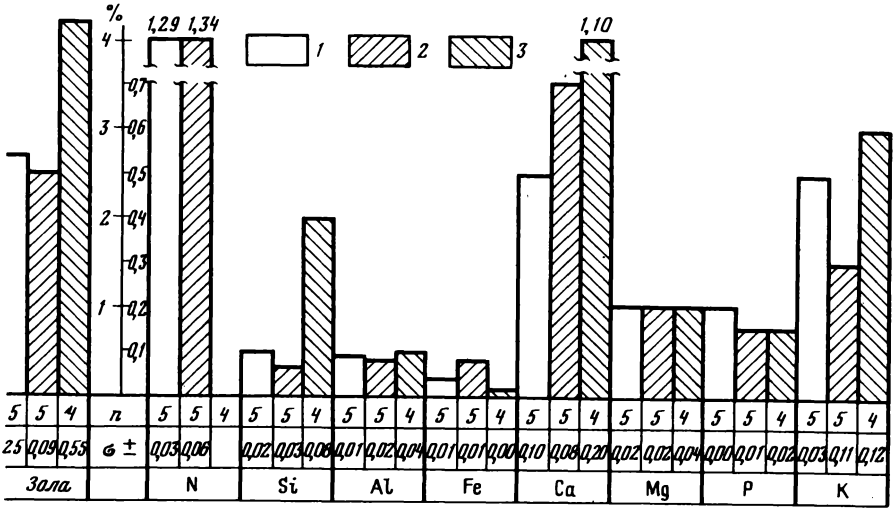


Рис. 2. Содержание азота и зольных элементов в хвое сосны (*1*), кедра (*2*) и ели (*3*)

рой его количество в 4 раза превышает таковое в хвое сосны и кедра (разница в содержании Si в хвое сосны и кедра недостоверна).

По количеству магния и алюминия эти древесные породы не различаются между собой (разница недостоверна). Наибольшим содержанием фосфора характеризуется хвоя сосны (см. табл. 23), и, несмотря на то что количество его в хвое сосны, кедра и ели различается слабо, критерий достоверности с хвоей сосны оказывается существенным вследствие слабой изменчивости признака у сосны (коэффициент изменчивости равен 3). Разница в содержании железа в хвое между тремя древесными растениями достоверна, по снижению его содержания их можно расположить в таком порядке: кедр > > сосна > ель. Количество железа в хвое кедра превышает его содержание в хвое ели в 8 раз.

В результате анализа полученных данных можно сделать вывод, что сравниваемые древесные породы различаются по содержанию кальция и железа и не имеют различия по содержанию магния и алюминия. Хвоя ели больше, чем другие породы, концентрирует кремний, а хвоя сосны – фосфор.

Таблица 23

Ряды накопления азота и зольных элементов хвоей (средние данные)

Сосна	$\frac{N}{1,48}$ >	$\frac{K}{0,48}$ ≥	$\frac{Ca}{0,46}$ >	$\frac{Mg}{0,20}$ ≥	$\frac{P}{0,18}$ >	$\frac{Si}{0,10}$ ≥	$\frac{Al}{0,08}$ >	$\frac{Fe}{0,04}$
Кедр	$\frac{N}{1,34}$ >	$\frac{Ca}{0,70}$ >	$\frac{K}{0,34}$ >	$\frac{Mg}{0,22}$ >	$\frac{P}{0,11}$ >	$\frac{Fe}{0,08}$ =	$\frac{Al}{0,08}$ ≥	$\frac{Si}{0,06}$
Ель	Не опр.	$\frac{Ca}{1,10}$ >	$\frac{K}{0,65}$ >	$\frac{Si}{0,42}$ >	$\frac{Mg}{0,16}$ >	$\frac{P}{0,14}$ =	$\frac{Al}{0,13}$ >	$\frac{Fe}{0,01}$

Таблица 24

Химический состав хвои ели и кедра

№ пробный площадки	Тип леса	Зольность, %	N
1 (67)	Ельник зеленомошно-ягодниковый	3,96	–
19 (67)	То же	3,77	–
2 (67)	"	3,98	–
11 (67)	"	4,98	–
5 (66)	Кедровник зеленомошно-ягодниковый	2,48	1,25
2 (66)	То же	2,28	1,15
12 (66)	"	2,28	1,33
9 (66)	"	2,48	1,33
4 (66)	"	2,43	1,27
3 (66)	"	2,49	1,30
1 (66)	"	2,52	1,43
8 (66)	"	2,58	1,35

* В числителе – % в окислах на чистую золу, в знаменателе – % в элементах на абс. сухую навеску.

Таблица 25

Критерий достоверности по Стьюденту (*td*) содержания химических элементов в хвое сосны, кедра и ели (*p* – 0,99)

Древесная порода	Зольность		N		Si		Ca	
	Кедр	Сосна	Кедр	Сосна	Кедр	Сосна	Кедр	Сосна
Ель	6,9	5,5	–	–	10,4	9,0	4,1	6,3
Сосна	1,6	–	1,5	–	3,4	–	4,2	–

Si	Al	Fe	Ca	Mg	P	K
20,15* / 0,37	8,27 / 0,17	0,35 / 0,01	37,88 / 1,07	7,49 / 0,18	8,09 / 0,14	17,01 / 0,55
20,33 / 0,36	4,90 / 0,10	0,43 / 0,01	37,97 / 1,02	9,23 / 0,21	6,66 / 0,11	18,03 / 0,56
22,58 / 0,42	7,52 / 0,16	0,35 / 0,01	33,32 / 0,95	4,94 / 0,12	8,96 / 0,15	20,00 / 0,66
22,73 / 0,53	3,18 / 0,08	0,30 / 0,01	39,21 / 1,39	5,12 / 0,15	6,74 / 0,15	20,00 / 0,82
5,46 / 0,06	5,27 / 0,07	5,20 / 0,09	31,30 / 0,56	13,21 / 0,20	12,07 / 0,13	–
7,12 / 0,07	6,84 / 0,08	6,33 / 0,10	25,02 / 0,41	10,94 / 0,15	8,75 / 0,09	–
7,43 / 0,08	5,96 / 0,07	5,90 / 0,09	26,98 / 0,44	9,90 / 0,14	8,23 / 0,08	–
5,46 / 0,06	5,27 / 0,07	5,20 / 0,09	31,30 / 0,55	13,21 / 0,20	12,07 / 0,14	25,04 / 0,51
5,01 / 0,05	5,14 / 0,06	5,69 / 0,09	44,10 / 0,74	14,02 / 0,20	11,04 / 0,11	11,98 / 0,23
5,48 / 0,06	6,12 / 0,08	4,96 / 0,09	40,84 / 0,73	15,62 / 0,23	10,11 / 0,11	13,99 / 0,29
6,11 / 0,07	6,23 / 0,08	3,84 / 0,07	41,06 / 0,74	13,85 / 0,21	9,54 / 0,10	17,00 / 0,35
5,37 / 0,06	8,12 / 0,11	4,14 / 0,07	39,54 / 0,73	16,13 / 0,25	9,84 / 0,11	13,89 / 0,30

Mg		Fe		Al		P		K	
Кедр	Сосна	Кедр	Сосна	Кедр	Сосна	Кедр	Сосна	Кедр	Сосна
2,7 / 1,3	2,0 / –	12,6 / 5,8	5,4 / –	2,2 / 0,7	2,1 / –	2,0 / 9,2	4,9 / –	4,0 / 2,9	2,9 / –

Таблица 26

Содержание зольных элементов, % от общей суммы

Элементы	Хвоя		
	сосны	кедра	ели
Ca + K	61	65	67
Mg + P	24	21	12
Al + Fe	8	10	5
Si	7	4	16

Поскольку хвоя концентрирует по сравнению с другими частями растений наибольшее количество элементов, часть которых ежегодно поступает в почву в виде опада, имеющиеся данные представляют интерес для выяснения соотношения в поступлении зольных элементов в почву в сосновых лесах по сравнению с кедровыми и еловыми. На основании данных, приведенных в табл. 26, следует, что поступление на поверхность почвы кальция и калия в сосновых лесах несколько меньше, а магния и фосфора – больше, чем в кедровых и особенно в еловых лесах. Более высокое содержание полуторных окислов в хвое сосны и кедра по сравнению с хвоей ели делает возможным более активное участие железа и алюминия в закреплении гумусовых веществ и других продуктов почвообразования в почвах под сосновыми и кедровыми лесами.

Возможность "биологического" оподзоливания в сосновых лесах значительно меньше, чем в еловых, так как кремния в хвое сосны обыкновенной в 2 раза, а сосны сибирской в 4 раза меньше, чем в хвое ели.

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ЗОЛЬНЫЙ СОСТАВ ХВОИ

Известно, что снабжение древесного яруса элементами питания во многом зависит от интенсивности обмена веществ между растением и почвой, от содержания элементов питания в доступных формах в почве, от физиологических особенностей растений. Образуя мощные горизонтальные корни в поверхностном слое и глубоко проникающие стержневой и якорные корни [Орлов, Кошельков, 1971], сосна потребляет элементы питания не только из верхних почвенных горизонтов, но и из минеральной горной породы [Горбунов, 1956; Миронов, 1966; Kundler, 1956]. В связи с тем что почвы Урала сформированы на резко различающихся по химическому составу горных породах, они представляют чрезвычайно интересный объект для выяснения влияния содержания питательных элементов в субстрате на зольный состав хвои в одних и тех же климатических условиях.

По поводу изменения химического состава хвои сосны в зависимости от почвенных условий в литературе существуют противоречивые суждения. Н.П.Ремезов с соавторами [1949, 1955], В.И.Портгасаар [1966а], Т.С.Павлова [1972] считают, что каждый вид древесных пород на различных почвах обладает близким процентным содержанием большинства элементов питания. Б.В.Надеждин [1957], изучая состав хвои сосны сопряженно с почвами, приходит к выводу, что зольный состав хвои может сильно изменяться

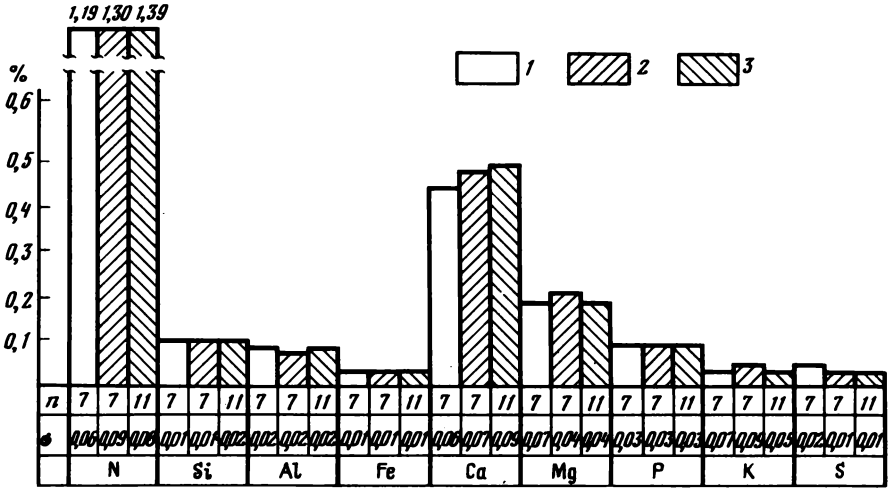


Рис. 3. Зависимость химического состава хвои сосны от лесорастительных условий

Тип лесорастительных условий: *1* – периодически сухой; *2* – устойчиво свежий; *3* – свежий, периодически влажный

в зависимости от условий произрастания соснового леса. С.А.Мамаев [1973] полагает, что состав хвои зависит от целого комплекса причин, как от физико-химических свойств почвы и ее влажности, так и от фазы развития растений и погодных условий. При изменении одного из этих показателей может значительно меняться химический состав золы хвои.

А.Я.Орлов и С.П.Кошельков [1971] указывают, что потребление сосной элементов питания из почвы зависит не только от их валового содержания в толще почвы, но и от прочности их связи в составе первичных или вторичных минералов. Поэтому нельзя ожидать достаточно выраженной зависимости между содержанием элементов в хвое и в почве [Абатуров, 1961, 1966; Кошельков, 1967; Lanz., 1969].

На основе полученного нами материала сделана попытка выявить зависимость химического состава хвои сосны от содержания элементов в гумусовом горизонте почв и горной почвообразующей породе. Математическая обработка данных (табл. 27) показала отсутствие зависимости между валовым содержанием элементов в гумусовом горизонте почвы и в хвое, так как коэффициенты корреляции оказались недостоверными: для Si коэффициент корреляции равен + 0,41; Ca – 0,45; Mg – + 0,53; P – + 0,12; Fe – + 0,18; Al – + 0,28 ($n = 9$).

Поскольку подвижность питательных элементов зависит не только от количества их в почве, но и от условий увлажнения, была сделана попытка выяснить влияние режима влажности почв на химический состав хвои. С этой целью сбор хвои производился с сосен, произрастающих в одинаковых климатических, но различных лесорастительных условиях: в сосняке брусничниковом (периодически сухой тип по классификации Колесникова, Зубаревой, Смолоногова [Лесорастительные условия..., 1973]), в сосняке ягодниковом (устойчивосвежий тип) и в сосняке разнотравном (периодически влажный тип). Полученные данные (рис. 3) показывают, что содержание

Таблица 27

Содержание зольных элементов в гумусовом горизонте почвы и хвое сосны

Валовой состав почвы в A_1, % на прокаленную навеску					
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5
75,07	10,81	8,48	0,56	1,20	0,35
70,32	15,51	7,67	3,53	2,15	0,17
60,64	16,33	12,85	2,88	3,37	0,26
68,89	12,18	6,05	2,76	6,24	0,30
74,82	7,37	5,23	1,17	11,02	0,13
58,92	12,60	14,50	5,78	3,85	0,06
71,36	18,42	4,52	2,77	1,10	0,17
54,70	18,07	15,41	4,44	5,35	0,20
76,40	15,35	2,11	2,97	0,60	0,26

Таблица 28

Критерий достоверности по Стьюденту содержания химических элементов в хвое сосны в зависимости от лесорастительных условий (p – 0,99)

Режим увлажнения	Периодически сухой	Устойчиво свежий	Периодически сухой	Устойчиво свежий
	Зольность		N	
Периодически влажный	0,3	1,0	5,7	0,9
Устойчиво свежий	1,0		2,5	
	Ca		Mg	
Периодически влажный	1,3	0,1	0	0,2
Устойчиво свежий	1,1		0,6	
	S			
Периодически влажный	0,2	0		
Устойчиво свежий	1,0			

азота в хвое увеличивается по мере увеличения влажности местопроизрастаний и производительности лесов: от периодически сухих (III класс бонитета древостоев) до периодически влажных (II класс бонитета) типов леса (разница между ними достоверна – $td = 5,7$) (табл. 28). Эти данные согласуются с результатами исследований А.Я.Орлова и С.П.Кошелькова [1971], которыми была установлена тесная корреляция между бонитетами древостоев и содержанием азота в хвое. Содержание остальных элементов в различных лесорастительных условиях изменяется незначительно.

Для выяснения влияния горной почвообразующей породы, являющейся корнеобитаемым горизонтом в горных почвах, на зольный состав хвои полученные данные были сгруппированы по принципу химизма горной породы: кислые (граниты и гранито-гнейсы), основные (змеевики и слюдистые

Зольный состав хвои сосны, % на абс. сухую навеску					
Si	Al	Fe	Ca	Mg	P
0,11	0,09	0,02	0,64	0,14	0,13
0,09	0,08	0,05	0,54	0,22	0,18
0,09	0,09	0,05	0,52	0,18	0,18
0,14	0,05	0,03	0,43	0,13	0,07
0,13	0,05	0,03	0,41	0,32	0,05
0,07	0,09	0,03	0,42	0,22	0,17
0,15	0,08	0,03	0,39	0,15	0,14
0,12	0,09	0,03	0,39	0,22	0,09
0,15	0,08	0,09	0,39	0,15	0,14

Периодически сухой	Устойчиво свежий	Периодически сухой	Устойчиво свежий	Периодически сухой	Устойчиво свежий
Si		Al		Fe	
0,2	0,1	0	0,1	0	0
0,1		0,7		0,4	
Mn		P		K	
0	0	0	0,6	0	0,6
0,3		0		0,4	

сланцы) и щелочные (известняки). Рассмотрим отличия сравниваемых горных пород. Наибольшее содержание SiO_2 (70,5%, табл. 29) соответствует гранитам, а наименьшее (почти в 2,5 раза меньше, чем в граните) — известнякам. По содержанию алюминия контрастно отличаются змеевики (4,50%) и гранито-гнейсы (23,07%). Железа больше концетрируется в змеевике, а минимум его приходится на кислые породы (граниты и гранито-гнейсы), мало его содержится и в известняках. Последние резко отличаются от других пород наибольшим (38,35%) содержанием CaO. Что касается MgO, то его количество чрезвычайно высоко в змеевике и слюдистом сланце. Минимум фосфора и калия приходится на змеевики. Наибольшее количество калия содержится в сланце слюдистом.

Таким образом, сравниваемые горные породы резко различаются между

Таблица 29

Валовой химический состав горных пород, % на прокаленную навеску

Горная порода	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O
Гранит [Ржанникова, 1972]	70,52	18,65	3,57	2,76	1,10	0,06	3,46*
Гранито-гнейс [Абатуров, 1961]	61,79	23,07	3,16	2,84	1,49	0,06*	5,05*
Змеевик [Ржанникова, 1972]	52,13	4,50	13,92	0,70	24,11	0,03	0,04*
Сланец слюдистый [Струве, 1940]	43,88	12,26	9,32	0,59	18,79	0,06	9,77
Известняк [Ржанникова, 1972]	28,57	9,62	4,19	38,35	3,79	0,02*	0,05*
Данные по Струве (1940)							

собой по химическому составу и, учитывая их близкое залегание к поверхности почв и участие в минеральном питании древесных растений, представляет интерес сравнить зольный состав хвои сосен, приуроченных к почвам, формирующимся на этих горных породах. При этом, если существует строгая зависимость между содержанием элементов в субстрате и поступлением их в растение, то зольный состав хвои должен в той или иной степени повторить контрастные различия в составе названных горных пород.

Результаты зольного анализа хвои сосны (табл. 30) объединены по принципу горной породы, на которой произрастает сосна. Используя эти данные (среднее содержание зольных элементов в хвое сосны на определенной горной породе и содержание химических элементов в ней), вычисляли также коррелятивную зависимость между содержанием зольных элементов в хвое и породе.

Полученные данные (см. табл. 30) и результаты их математической обработки (табл. 31) показывают, что наименьшее содержание кремния (0,1%)

Таблица 30

Химический состав хвои сосны, произрастающей на различных почвообразующих породах, % на абс. сухую навеску

Почвообразующая порода	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность	Si	Al
Гранит	10	$\bar{x}$	2,33	0,13	0,09
		σ	0,24	0,01	0,02
Гранито-гнейс	5	$\bar{x}$	2,60	0,11	0,07
		σ	0,02	0,02	0,02
Змеевик	6	$\bar{x}$	2,32	0,13	0,06
		σ	0,14	0,01	0,02
Слюдистые сланцы	4	$\bar{x}$	2,42	0,13	0,08
		σ	0,12	0,01	0,01
Известняк	4	$\bar{x}$	2,19	0,10	0,10
		σ	0,35	0,03	0,02

обнаружено в хвое сосны, растущей при близком залегании известняка, т.е. на породе с наименьшим количеством кремния. Однако математической обработкой данных обнаружена в этом случае слабая коррелятивная связь ($r = +0{,}52$) (табл. 32).

Наибольшее содержание магния наблюдается в хвое сосны, которая приурочена к наиболее богатым по содержанию магнием породам (змеевик), т.е. наблюдается прямая коррелятивная связь, но, судя по величине коэффициента корреляции ($r = +0{,}42$), она выражена очень слабо. Еще слабее выражена прямая коррелятивная зависимость содержания фосфора в хвое от его количества в горной породе ($r = +0{,}25$).

Слабая отрицательная связь между содержанием в хвое и горной породе обнаруживается у алюминия и железа. Из исследованных нами элементов наиболее тесную связь с содержанием в горной породе показывают кальций ($r = -0{,}75$) и калий ($r = +0{,}75$). Об этом свидетельствует также наибольшая величина $td = 1{,}97$. Однако эти различия могут считаться значительными только при доверительной вероятности 0,80.

Таким образом, полученные нами данные позволяют уточнить имеющиеся в литературе представления о зависимости зольного состава хвои от условий питания. По-видимому, однозначно решать вопрос о всех элементах нельзя. В частности, полученные нами данные свидетельствуют об отсутствии достоверного сопряженного изменения в содержании кремния, алюминия, железа, магния, марганца, фосфора и серы в горных породах и в хвое сосны, произрастающей в этих условиях, тогда как в содержании калия и кальция выявлена коррелятивная зависимость: в первом случае – положительная, во втором – отрицательная. Эти данные представляют определенный интерес для экологии сосны обыкновенной. Ее рост и развитие, очевидно, в значительной степени будут определяться содержанием в субстрате калия как одного из важных элементов питания, занимающего третье место в ряду накопления элементов в хвое. Что касается кальция, то, несмотря на его важную роль (второе место в ряду накопления) в питании, обнаруживается отрицательная зависимость от его содержания в почвенной среде. Это явление еще не получило достаточного освещения и объяснения в лите-

Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
0,03	0,47	0,18	0,06	0,09	0,36	0,06
0,01	0,05	0,04	0,02	0,01	0,08	0,01
0,05	0,60	0,17	0,03	0,08	0,43	0,02
0,01	0,02	0,01	Не опр.	0	0,01	Не опр.
0,03	0,46	0,24	0,03	0,06	0,38	0,06
0,01	0,06	0,06	0,01	0,01	0,03	0,01
0,03	0,54	0,15	0,05	0,10	0,43	0,04
0,01	0,08	0,01	0,01	0,03	0,11	0,02
0,03	0,37	0,17	0,05	0,10	0,37	0,03
0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01

Таблица 31

Критерий достоверности по Стьюденту содержания зольных элементов в хвое сосны, произрастающей на различных горных породах (p – 0,99)

Горная порода	Гранито-гнейс	Слюдистые сланцы	Змеевик	Известняк
		Si		
Слюдистые сланцы	2,0			
Змеевик	3,2	1,0		
Известняк	0,2	1,3	2,2	
Гранит	2,7			3,0
		Ca		
Слюдистые сланцы	1,1			
Змеевик	4,1	1,9		
Известняк	12,8	3,8	2,4	
Гранит	5,0	2,0	0,1	3,8
		K		
Слюдистые сланцы	0,1			
Змеевик	2,3	0,7		
Известняк	0,8	0,2	1,6	
Гранит	1,9	1,3	0,6	2,4

Таблица 32

Коэффициенты корреляции содержания зольных элементов в хвое сосны и почвообразующей породе

Показатель	Si	Al	Fe	Ca	Mg	P	K
r	+ 0,52	– 0,47	– 0,42	—0,75	+ 0,42	+ 0,25	+ 0,75
td	1,06	0,92	0,80	1,97	0,80	0,45	1,97

ратуре. Однако в предшествующих исследованиях отмечалось [Рийспере, 1966], что хвоя сосны обыкновенной на карбонатных почвах не отличается повышенным содержанием кальция по сравнению с некарбонатными местопроизрастаниями. Кроме того, этим исследователем было установлено, что обилие бикарбонат-ионов и высокое значение pH подавляют поглощение сосной основных питательных элементов (N, P, Ca, Mg). Исходя из этого, можно сделать важный для экологии сосны вывод, что кислые почвы более благоприятны для ее роста. В опытах Т.И.Левкиной [1964] было показано, что лучший рост сосны наблюдался при pH 5. При изменении pH до 7,0 вес сеянцев уменьшался до 55,1% от максимального.

Для представления о специфике поглощения растениями отдельных элементов на различных горных породах используют [Троицкий, 1949; Манаков, 1970] метод, предложенный Б.Б.Полыновым [1944], расчета рядов или коэффициентов поглощения, т.е. отношение количества элемента, со-

Гранито-гнейс	Слюдистые сланцы	Змеевик	Известняк	Гранито-гнейс	Слюдистые сланцы	Змеевик	Известняк
		Al				Fe	
				4,9			
	1,1			2,2	1,1		
	0,2	3,2		3,7	1,3	0,2	
	1,0	3,0	0,8	3,7			
		Mg				P	
2,4				0,8			
2,6	3,0			2,5	2,4		
	1,5	2,0		0,8		2,5	
0,6	1,4	2,4	0,5	2,3	1,0	6,0	1,0
		S				Mn	
	1,4				2,6		
	1,2	3,8			0,4	1,6	
	2,6		5,1		0,9	3,4	0,6

Таблица 33

Ряды поглощения зольных элементов хвоей сосны на разных горных породах

Гранит	P/150,16 >	Mg/11,70 >	Ca/10,26 >	K/5,33 >	Fe/0,51 >	Al/0,40 >	Si/0,17
Гранито-гнейс	P/117,00 >	Ca/11,36 >	Mg/7,27 >	K/3,94 >	Fe/0,87 >	Al/0,23 >	Si/0,15
Змеевик	K/493,35 >	P/197,72 >	Ca/39,60 >	Al/1,00 >	Mg/0,71 >	Si/0,22 >	Fe/0,13
Известняк	P/524,00 >	K/407,10 >	Mg/3,46 >	Al/0,87 >	Ca/0,61 >	Fe/0,51 >	Si/0,35
Слюдистые сланцы	P/157,80 >	Ca/53,16 >	K/2,19 >	Mg/0,55 >	Al/0,51 >	Si/0,25 >	Fe/0,17

держащегося в золе растения (в данном случае в золе хвои сосны), к количеству этого элемента в субстрате (в данном случае в горных породах).

Данные табл. 33 показывают, что с наибольшей энергией поглощается фосфор, а на змеевиках и известняках хвоей очень энергично поглощается и калий. На граните и гранито-гнейсе калий хвоей поглощается с меньшей энергией (в 80–90 раз), чем на змеевиках и известняках. На слюдистых

сланцах энергия поглощения калия меньше почти в 200 раз. Интенсивность поглощения кальция и магния также существенно изменяется в зависимости от породы: на гранитах и гранито-гнейсах поглощение кальция и магния происходит примерно одинаково, на змеевиках энергия поглощения кальция возрастает в 4 раза, на слюдистых сланцах – в 5 раз, а на известняках падает почти в 15 раз. Поглощение магния на известняках, змеевиках и слюдистых сланцах происходит менее энергично, чем на граните и гранито-гнейсах. Из инертных элементов (Al, Fe, Si) гранит и гранито-гнейс с наибольшей энергией поглощают железо, а с наименьшей – кремний; на змеевиках и слюдистых сланцах энергичнее поглощается алюминий, а с наименьшей энергией – железо; на известняках также энергичнее поглощается хвоей алюминий, а слабо – кремний.

Приведенные ряды поглощения показывают, что энергия поглощения падает с увеличением количества этого элемента в породе. Такой обычно интенсивно поглощаемый растениями элемент, как кальций, при увеличении содержания его в породе (известняки) переходит в разряд инертных элементов, и коэффициент поглощения его становится меньше 1. В то же время при малом содержании алюминия в змеевиках и известняках коэффициент поглощения его близок к 1. Изменение содержания в породе кремния не меняет существенно коэффициент его поглощения; кремний обычно занимает последнее или предпоследнее место по интенсивности поглощения элементов.

Таким образом, преобладающими элементами в хвое сосны в разных ареалах являются азот, кальций, калий; другие элементы разнятся по количественному содержанию и по порядку их в рядах накопления. В сходных эдафических условиях с севера на юг в хвое сосны возрастает содержание кальция и уменьшается количество фосфора; по мере увлажнения почв и повышения производительности древостоев содержание азота в хвое возрастает.

Глава IV

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ-ДОМИНАНТОВ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СОСНОВЫХ ЛЕСОВ УРАЛА

Доминантами напочвенного покрова в таежных лесах, особенно на Урале, являются зеленые мхи, а среди кустарничков – брусника и черника. Их опад создает определенные запасы питательных элементов в лесных подстилках, а от различий их химического состава зависят особенности круговорота азота и зольных элементов в системе растение–почва. В этой связи изучение химического состава растений-доминантов напочвенного покрова представляет большой интерес. Подобные исследования в литературе немногочисленны, а на Урале они практически отсутствуют. Можно назвать лишь исследование Ю.Д. Абатурова [1966], выполненное для ограниченной территории Ильменского заповедника (предлесостепная подзона Южного Урала) и характеризующее химический состав травяно-кустарничкового яруса сосновых лесов.

Нашим обследованием охвачены разные подзоны таежных сосновых лесов Урала, т.е. сбор зеленых мхов (Pleurozium Schreberi), брусники (Vaccinium vitis idaea) и черники (Vaccinium myrtillus) для выяснения зависимости их элементного состава от местопроизрастания и последующего его влияния на почву проводился в широком диапазоне экологических условий.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕЛЕНЫХ МХОВ

В зеленых мхах Европейской территории Союза, насколько позволяют об этом судить некоторые имеющиеся в литературе данные [Марченко, Карлов, 1962; Рожнова, 1963; Руднева и др., 1966; Кылли, Кьяхрик, 1970; Морозова, 1978; и др.], доминирующим элементом является азот, количество которого колеблется в значительных пределах – 0,85–1,30% (табл. 34). Из зольных элементов преобладают кальций или калий, и лишь, по данным Т.А. Рожновой [1963], зеленые мхи южнотаежных лесов Карелии содержат больше кремния. Содержание его в зеленых мхах разных ареалов подвержено особенно большим колебаниям – от 0,07 до 1,13 (т.е. в 16 раз), почти в таких же пределах (в 15 раз) колеблется содержание магния. Содержание серы, алюминия, железа и фосфора изменяется в 4–5 раз, более стабильно в зеленых мхах содержание кальция и калия.

Данные зольного состава зеленых мхов (см. табл. 34) не позволяют, однако, выявить закономерности его изменения с севера на юг в связи с улучшением в этом направлении плодородия почв и большей контрастности водно-теплового режима. Кроме того, для решения такого вопроса необходимо располагать обширным материалом, что позволило подвергнуть его математической обработке.

В пределах таежной зоны Урала был собран зеленый мох с 47 пробных площадей (из них в северной тайге было заложено 16, в средней тайге – 13, в южной тайге – 16 и в предлесостепной подзоне – 12).

Ряд накопления элементов зелеными мхами, составленный по средним данным для всех подзон Урала (n = 47), имеет вид:

$$\frac{N}{1,25} > \frac{Ca}{0,68} > \frac{Si}{0,43} > \frac{K}{0,33} > \frac{Mg}{0,20} > \frac{Al}{0,19} > \frac{P}{0,16} > \frac{Fe}{0,15} > \frac{S}{0,12} > \frac{Mn}{0,08},$$

т.е. преобладающими элементами являются азот, кальций и кремний. Таким образом, зеленомошный напочвенный покров, подобно древесному пологу, определяет кальциево-азотный тип круговорота веществ при значительной роли кремния.

Сопоставляя полученные нами данные (табл. 35) с имеющимися в литературе (см. табл. 34), можно отметить, что зеленые мхи таежной зоны Урала по сравнению с другими регионами характеризуются высоким содержанием азота (1,25%), кальция (0,68%) и железа (0,15%) и близким количеством калия (0,33%).

Для оценки изменения зольного состава зеленых мхов (одного вида – Pleurozium Schreberi) с севера на юг полученные для Урала данные были

Таблица 34

Химический состав зеленых мхов, % на абс. сухую навеску

Подзона	Район исследования	N	Si	Al	Fe
Северная тайга	Архангельская область	1,30	0,15	0,04	0,13
	”	1,24	0,07	0,03	0,02
Средняя тайга	Карелия	0,85	0,15	0,11	0,06
	”	1,17	0,13	0,11	0,06
Южная тайга	Эстония	–	1,13	0,08	0,04
	”	–	0,70	0,16	0,13
Северная тайга	Урал	1,19	0,32	0,16	0,11
Средняя тайга	”	1,27	0,35	0,20	0,23
Южная тайга и предлесостепь	”	1,31	0,61	0,21	0,19
Предлесостепь	”	1,10	0,20	0,10	0,02

Таблица 35

Химический состав зеленых мхов Урала

№ пробной площадки	Тип леса	Зольность, %	N	Si
1	2	3	4	5
	Северная тайга			
11 (65)	Сосняк бруснично-багульниковый	2,68	1,56	10,34* / 0,14
12 (65)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	3,15	1,60	20,07 / 0,29
15 (65)	То же	2,94	1,09	27,08 / 0,37
6 (66)	Сосняк бруснично-багульниковый	2,11	1,03	17,70 / 0,17
17 (66)	Сосняк брусничный	2,64	1,14	15,38 / 0,19
18 (66)	Ельник мшистый	3,62	0,89	16,69 / 0,28
12 (66)	Ельник зеленомошно-ягодниковый	4,23	1,12	8,30 / 0,49
13 (66)	То же	3,58	1,00	10,45 / 0,27
11 (66)	”	3,58	1,43	9,63 / 0,34
9 (65)	”	3,40	Не опр.	16,43 / 0,26

Ca	Mg	Mn	P	K	S	Автор
0,41	0,16	–	0,10	0,31	0,09	Марченко, Карлов, 1962
0,38	0,18	0,07	0,23	0,81	0,06	Руднева и др., 1966
0,35	0,03	0,05	0,10	0,33	0,03	Морозова, 1978
0,28	0,02	0,04	0,05	0,27	0,04	”
0,55	0,11	–	0,10	0,28	0,13	Рожнова, 1963
0,66	0,33	–	0,29	0,86	–	Кылли, Кьяхрик, 1970
0,67	0,23	0,08	0,07	0,12	0,29	Фирсова, Павлова, 1975
0,73	0,29	0,11	0,25	0,08	0,25	Павлова, 1977
0,65	0,26	0,05	0,16	0,15	0,45	Фирсова, Павлова, 1974
0,36	0,08	–	0,20	0,55	–	Абатуров, 1966

Al	Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
6	7	8	9	10	11	12	13
			Северная тайга				
12,86/0,19	12,56/0,25	31,46/0,64	15,98/0,28	0,98/0,02	1,48/0,02	10,01/0,23	3,66/0,04
12,34/0,21	5,13/0,11	30,26/0,68	17,34/0,33	2,17/0,05	2,08/0,03	5,98/0,16	4,13/0,05
7,18/0,11	10,15/0,21	27,12/0,57	13,43/0,23	1,04/0,02	1,72/0,02	7,10/0,17	5,13/0,06
6,49/0,07	6,10/0,09	25,87/0,39	10,52/0,13	5,70/0,09	7,00/0,06	10,35/0,18	9,46/0,08
9,51/0,13	4,80/0,09	27,41/0,51	8,49/0,13	1,56/0,03	8,00/0,09	9,96/0,21	15,82/0,17
10,04/0,19	4,68/0,12	25,15/0,65	11,66/0,25	6,24/0,18	7,06/0,11	10,00/0,30	8,10/0,11
24,55/0,18	2,58/0,08	23,28/0,70	8,99/0,23	5,43/0,18	7,77/0,14	10,04/0,35	8,65/0,14
16,07/0,19	3,38/0,08	24,40/0,62	9,29/0,20	15,20/0,42	2,57/0,04	15,12/0,45	4,48/0,06
20,11/0,18	4,38/0,11	22,81/0,56	8,46/0,18	7,12/0,19	5,12/0,08	8,97/0,26	13,56/0,19
12,04/0,22	4,68/0,11	30,46/0,74	15,24/0,31	5,48/0,15	3,14/0,04	8,00/0,22	4,18/0,06

Таблица 35 (продолжение)

1	2	3	4	5
	Северная тайга			
13 (65)	”	4,27	”	19,28/0,38
1 (66)	Кедровник зеленомошно-ягодниковый	3,84	”	18,69/0,34
4 (66)	То же	4,23	1,43	28,99/0,57
8 (66)	”	3,53	1,60	25,34/0,42
9 (66)	”	2,75	1,13	11,15/0,14
10 (66)	Кедровник зеленомошно-мелкотравный	3,39	1,05	18,30/0,29
	Средняя тайга			
3 (65)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	3,11	Не опр.	21,38/0,31
4 (65)	Сосняк бруснично-зеленомошный	4,23	1,18	25,34/0,50
5 (65)	Сосняк крупнотравный	3,36	Не опр.	18,46/0,29
18 (65)	То же	3,14	0,98	22,34/0,33
14 (69)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	3,73	1,01	22,36/0,39
15 (69)	То же	5,26	0,91	22,85/0,56
16 (69)	Сосняк крупнотравный	5,38	0,76	18,99/0,48
16 (65)	Ельник ягодниковый	4,42	1,20	12,96/0,27
2 (69)	Ельник кислично-разнотравный	4,56	1,85	20,81/0,44
9 (69)	То же	3,94	1,57	24,32/0,45
5 (69)	Ельник травяный	5,38	1,37	8,06/0,20
6 (69)	Ельник кисличный	4,38	1,60	10,12/0,20
7 (69)	Ельник зеленомошно-разнотравный	4,18	1,53	10,43/0,20
	Южная тайга			
9 (67)	Сосняк разнотравный	3,93	1,06	29,23/0,54
15 (67)	То же	7,33	1,28	17,92/0,61

6	7	8	9	10	11	12	13
			Северная тайга				
10,02/0,23	4,83/0,15	26,48/0,81	6,18/0,16	2,21/0,07	8,00/0,15	7,78/0,27	13,26/0,23
7,99/0,16	3,04/0,08	30,67/0,84	7,66/0,17	1,27/0,04	4,00/0,06	12,57/0,40	11,34/0,17
5,03/0,11	2,06/0,06	25,54/0,77	13,34/0,34	1,13/0,04	1,55/0,03	12,01/0,42	10,24/0,17
6,12/0,12	3,01/0,08	22,13/0,56	12,43/0,26	2,14/0,05	2,34/0,03	15,00/0,44	12,46/0,17
7,07/0,10	3,60/0,07	33,40/0,66	10,09/0,17	2,38/0,05	7,66/0,09	14,91/0,34	7,23/0,08
12,50/0,22	2,63/0,06	35,64/0,86	8,72/0,17	2,12/0,05	10,00/0,15	10,23/0,29	3,11/0,04
			Средняя тайга				
8,11/0,13	6,14/0,13	25,18/0,56	13,04/0,24	1,24/0,03	9,18/0,28	9,00/0,23	7,14/0,09
7,12/0,16	8,13/0,24	28,34/0,86	13,42/0,34	2,12/0,07	4,18/0,77	5,95/0,21	5,12/0,09
7,12/0,13	6,68/0,15	31,43/0,76	16,96/0,34	2,08/0,05	7,14/0,10	3,96/0,11	5,18/0,07
10,11/0,17	13,48/0,29	20,06/0,45	8,38/0,16	2,34/0,05	15,12/0,20	5,12/0,13	3,42/0,04
6,27/0,12	6,52/0,17	20,29/0,54	8,95/0,20	Не опр.	10,20/0,16	13,96/0,43	8,35/0,12
4,42/0,12	11,98/0,44	14,11/0,53	7,99/0,25	"	24,50/0,56	7,13/0,31	6,01/0,13
5,45/0,15	11,56/0,20	14,91/0,56	6,92/0,22	"	20,70/0,48	6,12/0,27	13,03/0,28
12,06/0,28	5,12/0,15	30,07/0,95	17,46/0,46	6,18/0,21	6,48/0,13	6,02/0,21	3,54/0,06
12,46/0,30	6,12/0,19	24,38/0,79	14,11/0,38	4,04/0,14	12,48/0,25	6,48/0,24	5,08/0,09
10,11/0,21	9,46/0,26	25,38/0,70	12,11/0,29	4,18/0,12	10,23/0,17	5,34/0,17	3,43/0,05
12,01/0,34	10,13/0,34	28,04/1,08	8,36/0,29	4,48/0,18	18,34/0,43	6,42/0,28	4,12/0,09
11,34/0,26	5,12/0,15	26,04/0,81	10,11/0,26	3,56/0,12	12,22/0,23	12,06/0,44	8,14/0,14
12,41/0,27	10,00/0,29	29,34/0,87	15,48/0,39	5,11/0,16	7,53/0,13	6,44/0,20	2,18/0,04
			Южная тайга				
12,25/0,25	7,19/0,19	20,98/0,59	6,33/0,16	1,08/0,03	7,06/0,12	6,10/0,20	9,18/0,14
6,74/0,25	4,53/0,23	24,07/1,26	14,23/0,63	0,89/0,05	14,11/0,45	13,17/0,80	4,62/0,14

Таблица 35 (окончание)

1	2	3	4	5
	Южная тайга			
33 (67)	Сосняк ягодниковый	4,45	Не опр.	26,77/0,56
40 (67)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	5,34	1,28	24,48/0,61
30 (68)	Сосняк брусничный	4,28	1,58	24,52/0,49
31 (68)	Сосняк ягодниковый	4,45	1,55	22,72/0,47
	Предлесостепная подзона			
3 (68)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	4,60	1,34	26,92/0,58
4 (68)	То же	5,50	Не опр.	32,42/0,33
5 (68)	Сосняк брусничный	5,77	1,09	34,67/0,94
8 (68)	Сосняк разнотравный	4,48	1,55	35,90/0,75
25 (68)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	4,52	1,81	30,16/0,64
26 (68)	Сосняк ягодниковый	4,23	1,23	27,41/0,54
13 (68)	Ельник кисличный	5,09	0,70	27,84/0,66
11 (68)	Ельник травяно-зеленомошный	4,97	1,21	20,70/0,48
14 (68)	Ельник хвощевый	4,63	1,38	31,57/0,68
15 (68)	То же	3,75	1,00	28,04/0,49
16 (68)	Ельник травяно-зеленомошный	4,41	1,60	22,22/0,46
27 (68)	То же	5,03	0,65	25,80/0,61

*В числителе — % в окислах на чистую золу, в знаменателе — % в элементах на абс. сухую навеску.

сгруппированы по подзонам: северная, средняя и южная тайга (объединенная с предлесостепной подзоной); подсчитывалось среднее содержание каждого элемента в зеленых мхах по подзонам и вычислялся коэффициент достоверности по Стьюденту (td). Из полученных данных (табл. 36, 37) видно, что с севера на юг увеличивается зольность мхов (разница достоверна), а также незначительно возрастает содержание азота (разница недостоверна). Зеленые мхи южной тайги по сравнению с северной отлича-

6	7	8	9	10	11	12	13
			Южная тайга				
1,59 / 0,04	2,83 / 0,08	21,63 / 0,69	6,75 / 0,18	2,08 / 0,07	10,00 / 0,19	12,60 / 0,46	11,34 / 0,20
13,05 / 0,37	6,93 / 0,26	21,39 / 0,81	7,53 / 0,24	1,81 / 0,08	5,55 / 0,13	8,75 / 0,39	8,91 / 0,19
7,29 / 0,16	6,06 / 0,18	16,13 / 0,49	6,22 / 0,16	1,25 / 0,04	9,09 / 0,17	17,68 / 0,62	7,35 / 0,12
7,47 / 0,17	5,20 / 0,16	19,25 / 0,60	6,68 / 0,18	1,03 / 0,03	8,57 / 0,16	14,97 / 0,56	11,98 / 0,21
			Предлесостепная подзона				
4,26 / 0,10	4,75 / 0,15	16,73 / 0,55	12,52 / 0,34	1,37 / 0,05	8,28 / 0,16	12,07 / 0,46	11,98 / 0,22
8,08 / 0,23	4,63 / 0,17	13,44 / 0,53	13,02 / 0,43	1,14 / 0,05	3,71 / 0,09	9,33 / 0,42	13,18 / 0,29
13,09 / 0,40	6,75 / 0,27	13,68 / 0,56	10,53 / 0,37	1,34 / 0,06	6,35 / 0,16	6,13 / 0,39	5,12 / 0,12
8,08 / 0,19	6,07 / 0,19	20,68 / 0,66	9,03 / 0,24	0,90 / 0,03	5,00 / 0,09	9,28 / 0,34	5,37 / 0,10
7,96 / 0,19	4,55 / 0,15	23,45 / 0,76	2,91 / 0,08	0,89 / 0,03	6,66 / 0,13	17,34 / 0,65	5,67 / 0,10
11,58 / 0,26	6,81 / 0,20	19,50 / 0,59	6,14 / 0,16	0,54 / 0,01	5,09 / 0,91	15,64 / 0,56	7,43 / 0,12
7,24 / 0,19	5,00 / 0,17	21,02 / 0,76	14,90 / 0,46	2,04 / 0,08	6,44 / 0,14	10,66 / 0,45	6,14 / 0,12
8,42 / 0,22	4,79 / 0,17	18,95 / 0,67	13,62 / 0,41	1,21 / 0,05	15,07 / 0,33	14,12 / 0,58	2,12 / 0,04
6,79 / 0,16	5,04 / 0,16	21,75 / 0,72	13,26 / 0,37	0,88 / 0,03	5,50 / 0,11	13,40 / 0,51	1,79 / 0,03
5,15 / 0,10	4,38 / 0,11	25,38 / 0,68	8,81 / 0,20	1,38 / 0,04	4,66 / 0,07	19,11 / 0,59	2,00 / 0,03
10,52 / 0,24	5,16 / 0,16	21,32 / 0,67	8,73 / 0,23	2,36 / 0,08	6,13 / 0,12	16,06 / 0,59	7,99 / 0,14
9,88 / 0,26	5,43 / 0,91	28,37 / 0,84	5,75 / 0,17	1,42 / 0,05	4,12 / 0,09	17,16 / 0,71	7,36 / 0,15

ются повышенным содержанием почти всех элементов. Наблюдаемое увеличение содержания химических элементов во мхах южных подзон, по-видимому, объясняется усилением интенсивности круговорота вещества к югу.

Вопрос о питании зеленых мхов долгое время оставался дискуссионным. Работами последних лет [Тархова, 1970; Фирсова, Павлова, 1974; 1975; Tamm, 1964, Streeter, 1970] установлено, что зеленые мхи потребляют

Таблица 36

Химический состав зеленых мхов разных подзон Урала, % на абс. сухую навеску

Подзона	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность, %	N	Si	Al
Северная тайга		$\bar{x}$	3,40	1,19	0,32	0,16
	19	σ	0,59	0,24	0,10	0,05
Средняя тайга		$\bar{x}$	4,23	1,27	0,35	0,20
	13	σ	0,08	0,34	0,12	0,08
Южная тайга и		$\bar{x}$	4,66	1,31	0,61	0,21
предлесостепь	19	σ	0,60	0,26	0,10	0,07

Таблица 37

Критерий достоверности различий по Стьюденту (при p–0,99) содержания химических элементов в зеленых мхах разных подзон

Подзона тайги	Северная	Средняя	Северная	Средняя	Северная	Средняя
	Зольность		N		Si	
Средняя	3,3		0,7		0,7	
Южная	6,3	1,7	1,3	0,3	7,5	5,6
	Al		Fe		Ca	
Средняя	1,6		4,3		0,8	
Южная	2,5	0,4	5,9	1,5	0,6	1,4
	Mg		Mn		P	
Средняя	2,0		1,2		4,0	
Южная	0,9	0,8	1,9	3,5	3,5	1,8
	K		S			
Средняя	0,9		2,1			
Южная	3,3	3,8	1,5	4,6		

питательные элементы не только из почвы, но и из стволов и крон деревьев при вымывании атмосферными осадками. Исследования Тамма показали, что наилучшее снабжение питательными элементами мхов наблюдается под кронами деревьев и уменьшается по направлению от крон. Продуктивность и встречаемость мхов, как показано Т.Н. Тарховой, не зависят от содержания N, P, K в подстилке и ее кислотности.

Аналогичные исследования были проведены нами в сосновых, еловых и кедровых северотаежных лесах Урала. В отличие от предшествующих работ нами, помимо N, P, K, определялись Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, S. Сбор мхов проводился под кроной сосны, кедра и ели, и химический состав мхов сопоставлялся с хвоей этих древесных пород. При этом мы исходили из предположения, что вода атмосферных осадков, проникая через крону, будет обогащаться теми элементами, которые содержатся в хвое той или иной древесной породы, и в какой-то степени повторять отличительные особенности зольного состава их хвои. Поскольку данными о химическом составе вод, стекающих с крон сосны, кедра и ели, мы не располагали, зольный состав зеленых мхов сравнивали с зольным составом хвои этих пород.

Fe	Ca	Mg	Mn	P	S	K
0,11	0,67	0,23	0,08	0,08	0,12	0,29
0,05	0,10	0,08	0,06	0,05	0,06	0,11
0,23	0,73	0,29	0,11	0,25	0,08	0,25
0,09	0,019	0,08	0,06	0,15	0,04	0,10
0,19	0,65	0,26	0,05	0,16	0,15	0,45
0,02	0,09	0,10	0,02	0,09	0,05	0,17

Сравнение данных химического состава мхов и хвои показывает, что только содержание алюминия, кальция и магния во мхах повторяет различия, выявленные для хвои разных пород (см. табл. 24). В частности, во мхах под еловыми лесами, так же как и в хвое ели, больше алюминия, количество магния более или менее стабильно как в хвое разных пород, так и в зеленых мхах (подтверждается недостоверностью различий в том и другом случае); минимальное (статистически достоверное) содержание кальция наблюдается во мхах под сосновыми лесами и в хвое сосны.

Математическая обработка данных (табл. 38, 39), сгруппированных по принципу древесной породы, показала, что зеленые мхи в кедровых лесах отличаются от еловых меньшим количеством алюминия, железа, марганца (различие достоверно), а от сосновых лесов – большей зольностью, большим содержанием кальция, калия и меньшим количеством железа. Зеленые мхи под сосной по сравнению с елью накапливают достоверно меньшее количество калия и алюминия.

Итак, исходя из сопряженной (статистически подтверждаемой) взаимосвязи в содержании кальция и магния в хвое и мхах, можно высказать предположение, что поступление этих элементов в растения идет за счет внекорневого питания. Объясняется это, вероятно, сравнительно легким высвобождением кальция и магния из живой и опавшей хвои и энергичным накоплением этих элементов, судя по их большой роли в ряду биологического накопления, мхами.

Ряды биологического накопления элементов в зеленых мхах имеют вид:

под кедром: N > Ca > Si > K > Mg > Al > P > Fe,
под сосной: N > Ca > Si > Mg > Al > K > Fe > P,
под елью: N > Ca > Si ≥ K ≥ Mg > Al > P, Fe,

т.е. в составе зольных элементов в зеленых мхах относительно больше, чем в хвое, накапливается кремний (занимает второе место в ряду накопления, и по этому показателю мхи приближаются к хвое ели) и уменьшается роль фосфора, который занимает предпоследнее или последнее место в ряду накопления. Кроме того, мхи под разными древесными породами имеют несколько различающиеся ряды биологического накопления элементов, т.е. они изменяются в зависимости от экологических условий.

Для оценки влияния "почвенного питания" на зольный состав зеленых

Таблица 38

Химический состав зеленых мхов северной тайги Урала под различными лесами, % на абс. сухую навеску

Древесная порода	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность, %	N	Si	Al
Кедр	5	$\bar{x}$	3,55	1,30	0,35	0,14
		σ	0,55	0,26	0,15	0,04
Ель	6	$\bar{x}$	3,18	1,11	0,34	0,20
		σ	0,75	0,23	0,14	0,02
Сосна	5	$\bar{x}$	2,74	1,24	0,23	0,14
		σ	0,39	0,03	0,09	0,06

Таблица 39

Критерий достоверности различий по Стьюденту (при p—0,98) содержания химических элементов в зеленых мхах под разными древесными породами

Древесная порода	Зольность		N		Si		Al		Fe	
	Ель	Сосна	Ель	Сосна	Ель	Сосна	Ель	Сосна	Ель	Сосна
Кедр	0,9	2,8	1,6	0,5	0,1	1,5	2,8	0	3,7	3,0
Сосна	1,2		0,9		1,3		2,8		1,7	

Таблица 40

Коэффициенты корреляции содержания химических элементов в зеленых мхах и подстилке

Горизонт	n	r/t	N	Si	Al	Fe	Ca	Mg	P	K
A_0	17	r	−0,09	+0,04	+0,26	−0,02	+0,36	+0,19	+0,33	+0,40
		t	0,28	0,15	1,05	0,08	1,50	0,73	1,34	1,32

мхов сравнивали его с содержанием элементов в подстилке (табл. 40), так как ризоиды мхов приурочены к ней. Из приведенных расчетов очевидно, что содержание элементов в подстилке не оказывает существенного влияния на химический состав мхов. Наиболее тесная связь обнаруживается между содержанием кальция (r = +0,36), фосфора (r = +0,33) и калия (r = +0,40).

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что кальций и магний принимают более активное участие во "внекорневом" питании мхов. Определенное влияние на химический состав мхов оказывает содержание кальция, фосфора и калия в подстилках. Мхи сильно реагируют на изменение среды, и в них не наблюдается строгого ряда биологического накопления элементов.

Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
0,07	0,74	0,22	0,04	0,07	0,38	0,12
0,01	0,13	0,07	0,01	0,03	0,06	0,03
0,11	0,68	0,22	0,15	0,09	0,31	0,13
0,03	0,09	0,05	0,04	0,05	0,08	0,06
0,15	0,56	0,22	0,03	0,04	0,19	0,06
0,06	0,11	0,07	0,01	0,01	0,03	0,02

Ca		Mg		Mn		P		K		S	
Ель	Сосна	Ель	Сосна	Ель	Сосна	Ель	Сосна	Ель	Сосна	Ель	Сосна
0,9	2,8	0	0	5,5	1,0	0,7	1,2	1,6	6,5	0,3	2,1
2,0		0		5,8		1,1		3,5		2,2	

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ БРУСНИКИ

Химический состав листьев брусники, согласно сведениям, имеющимся в литературе (табл. 41), подвержен меньшим колебаниям, чем химический состав зеленых мхов. Преобладающим элементом является азот, его количество составляет 0,88–1,29%. Из зольных элементов доминирует кальций, минимальное количество которого наблюдается в листьях брусники лесотундры Кольского полуострова – 0,36%, максимальное в среднетаежных сосняках Карелии – 0,88% и южнотаежных сосняках Урала – 0,70%. Содержание калия колеблется от 0,28 до 0,94%, наибольшее его количество определено в листьях брусники Урала. Содержание железа в листьях брусники находится в минимуме. В зависимости от условий произрастания количество кремния и особенно алюминия в листьях брусники колеблется в больших пределах (кремния от 0,01 до 0,07%, алюминия от 0,01 до 0,31%). Почти повсеместно они содержат большое количество марганца (0,11–0,22%).

Полученные нами данные (табл. 42, средние из 34 определений) по химическому составу листьев брусники таежной зоны Урала и составленный на их основе ряд накопления элементов

$$\frac{N}{1,23} > \frac{Ca}{0,63} > \frac{K}{0,37} > \frac{Mg}{0,21} > \frac{P}{0,17} > \frac{Si}{0,15} = \frac{Mn}{0,15} > \frac{S}{0,11} \geqslant \frac{Al}{0,10} > \frac{Fe}{0,04}$$

Таблица 41

Химический состав листьев брусники, % на абс. сухую навеску

Подзона	Район исследования	N	Si	Al	Fe
Тундра	Кольский полуостров	1,12	0,07	0,04	0,02
		0,93	0,04	0,04	0,01
Редколесье	”	0,88	0,03	0,05	0,01
Лесотундра	”	0,63	0,01	0,01	0,01
	Архангельская область	1,27	0,05	0,01	0,01
Северная тайга	Район р. Мезени	0,90	0,06	0,31	0,01
Средняя тайга	Карелия	0,98	0,04	0,04	0,04
	”	1,29	0,10	0,06	0,01
	Камчатка	–	0,19	–	0,04
Северная тайга	Урал	1,19	0,15	0,12	0,04
Средняя тайга	”	1,25	0,12	0,10	0,03
Южная тайга и предлесостепь		1,17	0,17	0,10	0,04
Предлесостепь	”	1,12	0,05	0,15	0,01

Таблица 42

Химический состав листьев брусники (Урал)

№ пробной площадки	Тип леса	Зольность, %	N	Si
1	2	3	4	5
	Северная тайга			
12 (65)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	3,02	1,06	8,34* / 0,12
14 (65)	То же	4,23	1,34	10,42 / 0,25
10 (65)	Сосняк бруснично-багульниковый	2,54	0,98	14,25 / 0,17
6 (66)	То же	3,11	1,11	8,94 / 0,13
17 (66)	Сосняк брусничный	3,18	Не опр.	14,81 / 0,22
13 (66)	Ельник зеленомошно-ягодниковый	3,28	1,23	7,12 / 0,11
11 (66)	То же	2,82	1,42	11,34 / 0,15
12 (66)	”	2,64	1,34	9,08 / 0,11
13 (65)	”	2,82	1,11	12,43 / 0,16

Ca	Mg	Mn	P	K	S	Автор
0,45	0,04	0,11	0,07	0,28	0,07	Манаков, 1961
0,61	0,06	0,17	0,10	0,32	0,16	"
0,50	0,06	0,18	0,10	0,44	0,12	"
0,36	0,14	0,03	0,13	0,34	0,06	"
0,48	0,18	0,14	0,11	0,47	0,06	Марченко, Карлов, 1962
0,36	0,10	0,22	0,10	0,42	0,08	Руднева и др., 1966
0,46	0,23	0,13	0,10	0,39	0,09	Казимиров, Морозова, 1973
0,88	0,32	0,23	0,15	0,57	0,14	Морозова, 1978
0,56	0,30	–	–	0,55	–	Зонн и др., 1963
0,61	0,21	0,16	0,17	0,33	0,10	Фирсова, Павлова, 1975
0,59	0,19	0,14	0,16	0,29	0,10	Павлова, 1977
0,70	0,23	0,12	0,16	0,48	0,11	Фирсова, Павлова, 1974
0,68	0,17	–	0,11	0,94	–	Абатуров, 1966

Al	Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
6	7	8	9	10	11	12	13
			Северная тайга				
5,43/0,08	2,04/0,04	27,82/0,60	12,54/0,23	5,24/0,12	14,28/0,19	13,90/0,35	9,36/0,11
4,82/0,10	1,72/0,05	27,34/0,35	9,84/0,25	5,63/0,16	14,09/0,26	18,96/0,66	7,13/0,12
6,18/0,08	1,34/0,02	28,31/0,51	10,42/0,16	7,12/0,14	7,42/0,08	16,00/0,34	7,14/0,07
11,34/0,18	1,72/0,03	25,84/0,57	11,38/0,21	8,31/0,20	12,07/0,16	12,02/0,31	7,96/0,10
7,32/0,12	1,82/0,40	24,08/0,54	14,01/0,26	1,28/0,03	10,46/0,14	15,89/0,42	10,13/0,13
3,54/0,06	1,84/0,04	26,42/0,62	12,36/0,24	3,82/0,09	15,28/0,22	15,00/0,41	14,18/0,18
6,72/0,10	1,54/0,03	31,24/0,63	13,42/0,23	6,11/0,29	11,24/0,14	12,08/0,28	3,82/0,04
7,38/0,10	1,22/0,02	32,82/0,62	10,11/0,16	13,22/0,27	7,12/0,08	11,21/0,24	6,34/0,07
8,25/0,12	2,34/0,04	30,43/0,61	8,34/0,14	7,42/0,16	12,31/0,15	10,11/0,23	3,12/0,09

Таблица 42 (продолжение)

1	2	3	4	5
	Северная тайга			
18 (66)	Ельник мшистый	2,96	1,22	8,52/0,12
1 (66)	Кедровник зеленомошно-ягодниковый	3,42	0,96	11,38/0,18
3 (66)	То же	3,04	1,36	12,56/0,18
4 (66)	”	2,69	1,38	8,34/0,11
5 (66)	Кедровник багульниковый	2,96	1,42	9,28/0,13
8 (56)	Кедровник зеленомошно-ягодниковый	3,51	0,84	8,56/0,14
9 (66)	То же	3,12	1,22	10,42/0,15
	Средняя тайга			
3 (65)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	2,78	1,18	11,04/0,14
4 (65)	Сосняк бруснично-багульниковый	3,11	–	7,07/0,10
5 (65)	Сосняк крупнотравный	3,26	–	8,53/0,13
15 (65)	Сосняк брусничный	2,66	1,12	10,07/0,13
14 (69)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	3,20	1,12	9,03/0,13
5 (69)	То же	3,18	1,31	10,60/0,06
6 (69)	Сосняк крупнотравный	3,42	1,43	11,06/0,18
4 (69)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	2,94	1,32	9,46/0,13
	Южная тайга			
1 (67)	Сосняк ягодниковый	3,42	1,42	12,04/0,19
2 (67)	Сосняк брусничный	3,18	1,28	13,32/0,20
7 (67)	То же	4,01	0,84	9,48/0,18
30 (68)	”	3,94	1,12	8,43/0,15
34 (68)	Сосняк ягодниковый	2,35	1,43	11,32/0,13

6	7	8	9	10	11	12	13
			Северная тайга				
4,96 / 0,08	1,55 / 0,03	28,34 / 0,60	11,86 / 0,21	5,12 / 0,12	14,46 / 0,19	18,00 / 0,44	6,94 / 0,03
7,46 / 0,13	2,34 / 0,06	25,84 / 0,63	11,72 / 0,24	3,32 / 0,08	16,28 / 0,24	15,95 / 0,46	5,36 / 0,07
8,12 / 0,13	1,02 / 0,02	24,32 / 0,53	11,84 / 0,22	4,26 / 0,10	12,81 / 0,16	15,04 / 0,38	9,82 / 0,20
5,36 / 0,08	3,34 / 0,07	23,84 / 0,49	9,46 / 0,16	5,28 / 0,12	13,46 / 0,17	13,10 / 0,31	17,31 / 0,20
7,18 / 0,11	2,18 / 0,04	30,42 / 0,64	14,32 / 0,25	6,42 / 0,15	11,18 / 0,14	13,10 / 0,31	5,14 / 0,06
12,32 / 0,24	3,12 / 0,03	27,56 / 0,69	10,56 / 0,22	5,46 / 0,15	10,84 / 0,16	12,06 / 0,35	8,37 / 0,11
7,55 / 0,12	1,42 / 0,31	28,34 / 0,63	14,25 / 0,26	11,22 / 0,27	10,63 / 0,14	10,91 / 0,28	4,38 / 0,05
			Средняя тайга				
5,12 / 0,07	1,24 / 0,02	28,56 / 0,56	10,18 / 0,17	8,12 / 0,17	16,04 / 0,19	12,08 / 0,27	6,06 / 0,07
6,12 / 0,10	1,56 / 0,03	32,04 / 0,71	9,13 / 0,17	9,12 / 0,22	15,38 / 0,21	11,12 / 0,28	8,14 / 0,10
7,12 / 0,12	2,11 / 0,04	30,56 / 0,71	12,84 / 0,25	7,84 / 0,20	12,30 / 0,17	12,06 / 0,32	6,28 / 0,08
6,84 / 0,10	1,38 / 0,08	27,96 / 0,57	10,00 / 0,17	5,18 / 0,11	8,92 / 0,11	17,11 / 0,41	12,35 / 0,14
5,62 / 0,09	1,72 / 0,03	28,62 / 0,65	13,10 / 0,25	9,13 / 0,22	10,00 / 0,14	11,73 / 0,31	9,46 / 0,12
6,72 / 0,05	1,78 / 0,01	25,69 / 0,24	14,21 / 0,11	2,06 / 0,02	16,22 / 0,09	12,43 / 0,13	10,11 / 0,05
7,86 / 0,14	1,43 / 0,08	23,32 / 0,58	8,55 / 0,17	1,34 / 0,04	16,20 / 0,24	10,34 / 0,29	18,75 / 0,25
7,12 / 0,11	2,06 / 0,04	28,42 / 0,59	12,14 / 0,22	6,72 / 0,15	12,46 / 0,16	12,23 / 0,30	7,14 / 0,08
			Южная тайга				
7,34 / 0,18	1,28 / 0,03	27,34 / 0,66	8,42 / 0,17	5,06 / 0,13	16,56 / 0,25	12,83 / 0,36	8,22 / 0,11
5,12 / 0,08	2,14 / 0,05	26,13 / 0,59	12,56 / 0,24	4,02 / 0,10	10,86 / 0,15	14,52 / 0,38	8,14 / 0,10
7,11 / 0,15	1,56 / 0,04	32,44 / 0,93	14,11 / 0,34	3,40 / 0,09	11,34 / 0,20	18,22 / 0,60	5,28 / 0,08
6,02 / 0,13	1,12 / 0,03	31,42 / 0,91	14,06 / 0,28	1,84 / 0,06	7,47 / 0,21	16,84 / 0,65	8,26 / 0,10
4,11 / 0,05	1,32 / 0,02	24,56 / 0,41	8,13 / 0,11	4,52 / 0,08	11,46 / 0,12	22,84 / 0,44	10,36 / 0,10

Таблица 42 (окончание)

1	2	3	4	5
	Предлесостепная подзона			
4 (68)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	3,14	1,12	8,14/0,12
5 (68)	Сосняк брусничный	3,28	1,34	13,26/0,20
8 (68)	Сосняк разнотравный	4,08	1,23	14,02/0,27
3 (68)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	3,56	0,96	10,11/0,17
20 (68)	Сосняк брусничный	2,89	0,96	8,24/0,11

*В числителе – % в окислах на чистую золу, в знаменателе – % в элементах на абс. сухую навеску.

Таблица 43

Химический состав листьев брусники, % на абс. сухую навеску

Подзона	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность, %	N	Si	Al
Северная тайга	16	$\bar{x}$	3,10	1,19	0,15	0,12
		σ	0,37	0,18	0,04	0,05
Средняя тайга	8	$\bar{x}$	3,10	1,25	0,12	0,10
		σ	0,24	0,13	0,03	0,03
Южная тайга и предлесостепь	10	$\bar{x}$	3,37	1,17	0,17	0,10
		σ	0,54	0,02	0,05	0,03

подтверждают отмеченное в литературе преобладание в их химическом составе азота, кальция и калия при незначительном количестве железа.

Исходя из ряда накопления элементов в бруснике, можно сделать вывод, что брусничный напочвенный покров определяет в лесах с его доминированием кальциево-азотный тип круговорота веществ при значительном участии калия, что отличает бруснику от зеленых мхов, в которых третье место в ряду накопления занимает кремний.

Следует отметить, однако, что брусника, произрастающая в лесах Урала, по сравнению с другими ее ареалами отличается высоким содержанием в листьях кремния (0,15%), алюминия, магния (0,20%), фосфора (0,10%), а также более значительным количеством азота (1,25%) и кальция (0,63%). Объяснение этому факту, по-видимому, надо искать в богатстве первичными минералами горных почв Урала.

Сравнительное изучение химического состава брусники в разных подзонах (северная, средняя и южная тайга) показало (табл. 43, 44), что листья брусники достоверно отличаются только по содержанию калия, количество которого к югу возрастает. Не выявлено нами и достовер-

6	7	8	9	10	11	12	13
			Предлесостепная подзона				
6,32/0,10	2,22/0,05	31,28/0,70	12,84/0,19	7,42/0,19	10,36/0,11	10,12/0,42	8,11/0,10
3,42/0,06	1,86/0,05	27,06/0,63	10,32/0,20	8,12/0,21	8,34/0,15	16,28/0,44	8,38/0,11
3,03/0,06	1,72/0,04	25,11/0,73	10,48/0,26	4,64/0,14	10,11/0,18	18,84/0,62	11,21/0,18
5,42/0,10	1,34/0,03	31,25/0,80	12,56/0,27	5,12/0,14	6,18/0,09	14,22/0,42	12,38/0,18
5,94/0,09	2,18/0,04	82,14/0,66	11,84/0,80	2,14/0,05	12,43/0,16	20,11/0,43	6,12/0,07

Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
0,04	0,61	0,21	0,16	0,17	0,33	0,10
0,01	0,08	0,01	0,06	0,02	0,07	0,04
0,03	0,59	0,19	0,14	0,16	0,29	0,10
0,01	0,15	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05
0,04	0,70	0,23	0,12	0,16	0,48	0,11
0,02	0,15	0,06	0,05	0,05	0,18	0,04

Таблица 44

Критерий достоверности по Стьюденту содержания химических элементов в листьях брусники разных подзон тайги (при p–0,99)

Подзона тайги	Южная	Северная	Южная	Северная	Южная	Северная
	Зольность		N		Si	
Северная	1,50		0,70		0,22	
Средняя	1,06	0	0,60	0,77	2,50	0,23
	Al		Fe		Ca	
Северная	1,50				2,00	
Средняя	0	0,40	0,77	1,20	1,57	0,60
	Mn		Mn		P	
Северная	0,20		1,80		0,80	
Средняя	0,70	0,99	1,13	0,70	0	0,30
	K		S			
Северная	4,08		0,90			
Средняя	2,68	1,08	0,50	0		

Таблица 45

Химический состав листьев брусники под разными древесными породами в подзоне северной тайги, % на абс. сухую навеску

Древесная порода	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность, %	N	Si	Al
Сосна	5	$\bar{x}$	3,22	1,12	0,18	0,11
		σ	0,31	0,09	0,03	0,02
Ель	5	$\bar{x}$	2,90	1,26	0,13	0,09
		σ	0,12	0,06	0,01	0,01
Кедр	6	$\bar{x}$	3,16	1,20	0,15	0,11
		σ	0,11	0,11	0,01	0,01

Таблица 46

Критерий достоверности по Стьюденту содержания химических элементов в листьях брусники под разными древесными породами

Древесная порода	Сосна	Ель	Сосна	Ель	Сосна	Ель
	Зольность		N		Si	
Ель	2,1		1,8		1,8	
Кедр	3,7	1,7	0,6	0,5	1,8	1,2
	Al		Fe		Ca	
Ель	1,0		0,7		0,2	
Кедр	0,1	1,8	1,4	1,8	0,2	0,5
	Mg		Mn		P	
Ель	1,0		0,6		0,3	
Кедр	0,1	1,6	0,3	1,6	0,1	0,4
	K		S			
Ель	1,2		2,6			
Кедр	0,8	0,4	0,2	1,2		

ных отличий (табл. 45, 46) в химическом составе брусники, произрастающей под пологом сосны, ели и кедра.

Близкое абсолютное содержание элементов в листьях брусники, растущей под пологом разных древесных пород, и идентичные ряды накопления зольных элементов, а именно:

под кедровыми лесами N > Ca > K > Mg > P > Si > Al > Fe,
под сосновыми лесами N > Ca > K > Mg > P = Si > Al > Fe,
под еловыми лесами N > Ca > K > Mg > P > Si > Al > Fe,

указывают на отсутствие ясно выраженной зависимости питания брусники от древесного полога.

Таким образом, как на основе полученных данных, так и в результате обобщения имеющихся в литературе сведений можно говорить о слабой изменчивости химического состава брусники в зависимости от условий среды.

Чтобы выяснить, насколько содержание химических элементов листьев брусники зависит от валового содержания их в почве, рассчитан коэффи-

Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
0,04	0,61	0,22	0,16	0,17	0,42	0,11
0,004	0,04	0,02	0,02	0,03	0,07	0,01
0,03	0,62	0,20	0,19	0,16	0,32	0,07
0,004	0,05	0,02	0,04	0,03	0,05	0,01
0,05	0,60	0,22	0,12	0,17	0,35	0,10
0,01	0,03	0,01	0,004	0,02	0,07	0,02

Таблица 47

Коэффициенты корреляции содержания химических элементов в гумусовом горизонте и в листьях брусники

n	*r/t*	Si	Al	Fe	Ca	Mg	P
12	*r*	+0,18	+0,42	−0,17	−0,28	−0,06	−0,04
	t	0,57	1,46	0,55	0,92	0,18	0,13

циент корреляции по содержанию каждого элемента в листьях брусники и в гумусовом горизонте, исходя из того, что брусника потребляет питательные вещества из гумусового горизонта [Авдошенко, 1949].

Как видно из данных табл. 47, существует очень слабая связь между содержанием элементов в почве и бруснике, особенно для магния и фосфора. Наибольшая коррелятивная зависимость наблюдается в содержании алюминия ($r = +0{,}42$), затем кремния ($r = +0{,}18$). По содержанию кальция и железа выявлена слабая отрицательная зависимость.

Таким образом, валовое содержание исследуемых элементов в гумусовом горизонте, по-видимому, определяет содержание химических элементов в листьях брусники.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ ЧЕРНИКИ

Ряд накопления химических элементов листьями черники разных ареалов начинается азотом, и содержание его колеблется от 0,93% на Кольском полуострове [Манаков, 1962] до 2,08% в Архангельской области [Руднева и др., 1966]. Калий и кальций в листьях черники содержатся почти в равных количествах (табл. 48) – 0,45–1,0%, и только в лесах Карелии [Казимиров, Морозова, 1973] количество кальция в 2 раза превышает содержание калия. Почти повсеместно, так же как и в листьях брусники, содержится много марганца, в отдельных случаях до 0,36% [Рысин, Антюхина, 1977].

Ряд накопления элементов листьями черники таежной зоны Урала, составленный по средним данным ($n = 23$), имеет следующий вид:

$$\frac{N}{1{,}36} > \frac{K}{0{,}81} > \frac{Ca}{0{,}76} > \frac{P}{0{,}42} \geqslant \frac{Al}{0{,}40} > \frac{Mg}{0{,}35} > \frac{Si}{0{,}20} > \frac{S}{0{,}15} = \frac{Mn}{0{,}15} > \frac{Fe}{0{,}05},$$

Таблица 48

Химический состав листьев черники, % на абс. сухую навеску

Подзона	Район исследования	N	Si	Al	Fe
Редколесье	Кольский полуостров	0,93	0,02	0,09	0,01
Лесотундра	”	1,28	0,03	0,03	0,01
	Архангельская обл.	1,46	0,08	0,01	0,01
Северная тайга	”	2,08	0,07	0,13	0,01
Средняя тайга	Карелия	1,59	0,02	0,03	0,01
Южная тайга	Подмосковье	2,01	0,17	–	–
	”	1,14	0,57	–	–
	”	2,38	0,25	–	–
	”	1,90	0,24	–	–
Северная тайга	Урал	1,39	0,19	0,38	0,05
Южная тайга	”	1,33	0,22	0,42	0,06

Таблица 49

Химический состав листьев черники (Урал)

№ пробной площадки	Тип леса	Зольность, %	N	Si
1	2	3	4	5
	Северная и средняя тайга			
11 (65)	Сосняк бруснично-багульниковый	3,86	0,96	7,52* / 0,13
1 (66)	Кедровник зеленомошно-ягодниковый	5,36	1,04	9,86 / 0,25
12 (66)	Ельник зеленомошно-ягодниковый	4,23	1,12	8,26 / 0,16
15 (69)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	6,09	1,37	6,14 / 0,17
16 (69)	Сосняк крупнотравный	6,45	1,26	7,06 / 0,21
4 (69)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	5,48	1,22	8,12 / 0,21
	Южная тайга и предлесостепь			
19 (67)	Ельник зеленомошно-ягодниковый	4,92	1,38	5,64 / 0,13
11 (68)	Ельник травяно-зеленомошный	6,12	1,56	9,43 / 0,27

Ca	Mg	Mn	P	K	S	Автор
0,54	0,05	0,21	0,13	0,61	0,08	Манаков, 1962
0,74	0,16	0,13	0,19	0,78	0,03	”
0,45	0,13	0,08	0,12	0,45	0,07	Марченко, Карлов, 1962
1,02	0,34	0,55	0,24	1,00	0,10	Руднева и др., 1966
0,67	0,06	0,21	0,08	0,31	0,04	Казимиров, Морозова, 1973
0,75	0,13	0,03	0,40	0,84	–	Рысин, Антюхина, 1977
0,82	0,33	0,36	0,37	0,94	–	”
0,58	0,35	0,26	0,47	0,72	–	”
0,75	0,20	0,25	0,25	0,78	–	”
0,71	0,34	0,15	0,42	0,82	0,14	Фирсова, Павлова, 1975
0,87	0,35	0,14	0,45	0,78	0,6	Фирсова, Павлова, 1974

Al	Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
6	7	8	9	10	11	12	13
			Северная и средняя тайга				
14,28/0,29	0,93/0,02	23,51/0,65	12,82/0,29	6,13/0,18	11,86/0,20	16,01/0,51	6,48/0,10
17,23/0,49	2,00/0,07	18,38/0,70	11,27/0,36	5,43/0,22	14,13/0,33	14,64/0,65	5,56/0,12
12,84/0,28	1,23/0,03	22,28/0,04	9,27/0,23	4,21/0,14	17,84/0,33	22,00/0,77	6,56/0,11
15,34/0,49	1,09/0,04	15,00/0,65	9,96/0,37	Не опр.	20,00/0,53	19,34/0,97	6,94/0,17
10,97/0,37	1,22/0,06	16,93/0,78	9,92/0,38	”	24,30/0,68	15,63/1,30	8,66/0,22
13,42/0,39	1,84/0,07	21,06/0,82	12,84/0,42	0,84/0,04	20,06/0,48	16,21/0,74	5,48/0,12
			Южная тайга и предлесостепь				
17,30/0,45	1,16/0,04	18,90/0,70	11,80/0,35	1,84/0,07	18,11/0,41	18,34/0,79	7,11/0,14
12,66/0,41	1,87/0,08	22,94/1,04	10,03/0,37	4,01/0,19	19,86/0,53	12,80/0,65	4,90/0,12

Таблица 49 (окончание)

1	2	3	4	5
	Южная тайга и предлесостепь			
13 (68)	Ельник кисличный	6,34	1,42	10,11/0,30
14 (68)	Ельник мокрый	7,18	1,26	11,01/0,37
15 (68)	Ельник хвощевый	5,13	1,18	7,50/0,18
30 (67)	Ельник зеленомошно-ягодниковый	4,53	1,23	8,96/0,19
16 (67)	Сосняк ягодниковый	5,84	1,42	6,21/0,17
41 (67)	То же	6,23	2,00	8,23/0,24
26 (67)	Сосняк разнотравный	5,32	1,11	10,84/0,27
32 (67)	Сосняк брусничный	7,06	1,31	9,07/0,30
35 (67)	Сосняк ягодниковый	4,96	1,15	10,34/0,24
36 (67)	То же	5,82	1,28	6,97/0,19
38 (67)	"	4,12	0,94	5,18/0,10
40 (67)	Сосняк зеленомошно-ягодниковый	5,38	1,36	7,15/0,18
22 (68)	Сосняк разнотравный	4,89	1,35	5,68/0,13
30 (68)	Сосняк брусничный	5,82	1,33	6,97/0,19
34 (68)	Сосняк ягодниковый	6,18	1,37	10,02/0,29

* В числителе – % в окислах на чистую золу, в знаменателе – % в элементах на абс. сухую навеску.

т.е. ряд накопления элементов повторяет закономерности, свойственные накоплению элементов черникой других территорий. Исходя из данных, представленных в ряду накопления элементов листьями черники, можно сделать вывод о значительной роли калия в круговороте зольных элементов в лесах с напочвенным покровом из черники. По содержанию кремния, алюминия, железа, магния, фосфора и серы черника таежной зоны Урала превосходит растения лесотундры и северной тайги (табл. 49; см. табл. 48). Лишь содержание марганца (0,15%) меньше, чем в чернике северной тайги Архангельской области [Руднева и др., 1966] и березового редколесья

6	7	8	9	10	11	12	13
			Южная тайга и предлесостепь				
12,82/0,43	0,90/0,04	16,76/0,76	9,94/0,38	2,04/0,10	22,07/0,61	16,15/0,85	3,93/0,10
14,22/0,54	1,79/0,05	15,39/0,79	8,08/0,35	3,96/0,22	21,40/0,67	13,42/0,80	6,96/0,20
14,12/0,41	2,23/0,08	21,26/0,89	10,02/0,31	2,77/0,11	13,41/0,30	20,14/0,90	8,28/0,17
13,35/0,32	0,95/0,03	22,71/0,93	10;25/0,28	2,85/0,10	17,72/0,35	15,95/0,75	7,20/0,15
16,18/0,50	1,96/0,08	28,50/1,19	12,21/0,43	3,31/0,15	10,21/0,26	18,36/0,89	2,99/0,07
13,65/0,45	1,15/0,05	19,53/0,87	9,85/0,37	3,31/0,16	23,19/0,63	12,95/0,67	7,22/0,18
14,56/0,41	2,15/0,08	23,92/0,91	12,47/0,40	4,12/0,17	15,09/0,35	9,06/0,40	7,52/0,16
17,14/0,64	1,62/0,08	13,07/0,66	8,22/0,35	2,93/0,16	19,17/0,59	18,94/1,11	8,85/0,25
12,57/0,33	1,73/0,06	18,61/0,66	8,69/0,26	3,12/0,12	20,81/0,45	16,52/0,68	6,05/0,12
13,64/0,42	1,47/0,06	27,87/1,16	11,97/0,42	3,55/0,16	9,06/0,23	14,28/0,69	9,45/0,22
16,06/0,35	2,08/0,06	28,85/0,85	12,88/0,32	4,70/0,15	25,61/0,46	13,45/0,46	7,88/0,13
15,46/0,44	1,59/0,06	21,06/0,81	11,10/0,36	2,40/0,10	13,21/0,31	21,05/0,94	6,50/0,14
12,37/0,32	2,34/0,08	28,60/1,00	12,21/0,36	3,17/0,12	15,95/0,34	11,08/0,45	6,12/0,15
10,07/0,31	1,75/0,06	19,94/0,83	9,97/0,35	2,66/0,12	21,28/0,54	21,94/1,06	6,01/0,12
12,23/0,40	2,06/0,09	18,78/0,83	8,05/0,30	3,13/0,15	16,33/0,44	21,64/1,11	6,44/0,22

Мурманской области [Манаков, 1962] и Подмосковья [Рысин, Антюхина, 1977].

Сравнение химического состава листьев черники, произрастающей в разных подзонах Урала – северотаежной (объединенной со средней) и южнотаежной (объединенной с предлесостепной подзоной), показало незначительное увеличение зольности и абсолютного содержания кремния, алюминия, кальция, серы в листьях черники в южной подзоне. Влияние древесного полога на химический состав листьев черники мы изучали в южной тайге и предлесостепной подзоне. Данные анализа сгруппировали

Таблица 50

Химический состав листьев черники, % на абс. сухую навеску

Подзона	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность, %	N	Si	Al
Северная тайга	6	$\bar{x}$	5,25	1,39	0,19	0,38
		σ	1,01	0,16	0,05	0,09
Южная тайга	17	$\bar{x}$	5,63	1,33	0,22	0,42
		σ	0,84	0,24	0,07	0,08
		td	0,91	0,51	1,00	1,02

Древостой	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность, %	N	Si	Al
Еловый	6	$\bar{x}$	5,70	1,33	0,24	0,42
		σ	1,01	0,31	0,09	0,07
Сосновый	11	$\bar{x}$	5,60	1,33	0,21	0,41
		σ	0,79	0,26	0,11	0,10
		td	0,23	0	0,6	0,2

Таблица 51

Коэффициент корреляции содержания химических элементов в горизонте A_1 и листьях черники

n	r/t	Si	Al	Fe	Ca	Mg	P
12	r	+0,49	−0,40	+0,02	−0,47	−0,58	+0,54
	t	1,79	1,39	0,08	1,69	2,26	2,04

по принципу древесной породы, подсчитали среднее количество ($\bar{x}$) каждого элемента и разницу в содержании между ними (табл. 50). Листья черники под елью и сосной имеют близкие количества химических элементов, разница в их содержании не достоверна. Ряды накопления элементов идентичны:

под еловым лесом: N > Ca > K > P > Al > Mg > Si > S > Mn > Fe,

под сосновым лесом: N > Ca > K > P = Al > Mg > Si > S > Mn > Fe.

Для выяснения влияния валовых запасов химических элементов в гумусовом горизонте на химический состав листьев черники нами подсчитан коэффициент корреляции между содержанием элементов в почве и листьях черники (табл. 51). Как видно из приведенных данных, наибольшая связь между содержанием зольных элементов в почве и в чернике обнаруживается по фосфору (r = +0,54) и кремнию (r = +0,49). Кальций (r = −0,47), магний (r = −0,58), алюминий (r = −0,40) обнаруживают отрицательную связь, т.е. с повышением их количества в гумусовом горизонте содержание этих элементов в листьях черники уменьшается.

Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
0,05	0,71	0,34	0,15	0,42	0,82	0,14
0,02	0,08	0,15	0,01	0,17	0,28	0,05
0,06	0,87	0,35	0,14	0,45	0,78	0,16
0,02	0,18	0,04	0,03	0,15	0,23	0,04
1,06	1,70	0,30	1,00	0,40	0,20	0,20

Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
0,06	0,85	0,34	0,13	0,48	0,79	0,15
0,02	0,13	0,04	0,06	0,15	0,09	0,04
0,07	0,89	0,35	0,14	0,42	0,77	0,16
0,01	0,17	0,05	0,02	0,13	0,27	0,05
0,1	0,5	0,4	0,5	0,8	0,2	0,5

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСНОВНЫХ ДОМИНАНТОВ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Обобщая полученные нами данные для таежной зоны Урала, можно отметить следующие отличительные особенности изученных растений. Наибольшей зольностью (5,44%) и более высоким содержанием на абсолютно сухую навеску азота, алюминия, кальция, магния, фосфора, калия и серы (разница достоверна) характеризуются листья черники (табл. 52, 53). Зеленые мхи в отличие от кустарничков имеют несколько меньшие зольность (4,09%) и количество азота (1,25%), а также повышенное содержание кремния (0,43%) и железа (0,15%). Наименьшая зольность соответствует листьям брусники (3,20%); по содержанию химических элементов, кроме кремния и железа, они близки к зеленым мхам. Листья кустарничков имеют почти равные количества железа и марганца.

Листья черники отличаются повышенным содержанием алюминия. Накопление кустарничками больших количеств марганца, как отмечают Л.Е. Родин и Н.И. Базилевич [1965], характерно для кустарничков разных мест обитания. Повышенное содержание железа в зеленых мхах, вероятно, сложилось в процессе эволюции вида [Перельман, 1966]. Мхи как типичные обитатели болот, для которых характерна высокая миграционная способность железа, являются его концепторами. Исследуемые растения отличаются не только количественным содержанием элементов, но и порядком их расположения в рядах накопления:

зеленые мхи: N > Ca > Si > K > Mg > Al > P > Fe > S > Mn,
листья брусники: N > Ca > K > Mg > P > Si > Mn > S = Al > Fe,
листья черники: N > K > Ca > P > Al > Mg > Si > S > Mn > Fe.

Таблица 52

Химический состав растений различных видов (% на абс. сухую навеску)

Растение	n	$\bar{x}/\sigma$	Зольность, %	N	Si	Al
Зеленый мох	51	$\bar{x}$	4,09	1,25	0,43	0,19
		σ	0,42	0,28	0,11	0,06
Листья брусники	34	$\bar{x}$	3,20	1,23	0,15	0,10
		σ	0,38	0,18	0,04	0,04
Листья черники	23	$\bar{x}$	5,44	1,36	0,20	0,40
		σ	0,92	0,20	0,06	0,08

Таблица 53

Критерий достоверности по Стьюденту содержания химических элементов в разных видах растений (при p – 0,999)

Вид растения	Зеленый мох	Черника	Зеленый мох	Черника
	N		Si	
Брусника	0,8	3,5	10,4	2,9
Черника	2,0		10,4	
	Mg		Mn	
Брусника	0,6	4,1	5,7	0
Черника	8,2		7,8	

Кроме отмеченных различий по приведенным рядам накопления, обращает внимание тот факт, что доля калия и фосфора выше в зеленых мхах, чем в бруснике и чернике. Роль алюминия незначительна в бруснике (предпоследнее место) и возрастает в чернике.

Рассмотрим структуру зольного вещества, отражающую специфику зольного состава сравниваемых растений (рис. 4). В зеленых мхах элементы по количеству их в золе четко делятся на три группы: CaO и SiO_2, которые составляют около половины (45%) зольного вещества; их можно выделить в первую группу. Вторую группу образуют MgO, K_2O, P_2O_5, Al_2O_3, SO_3, содержание каждого элемента составляет 8–11%. Третью группу составляют железо (6%) и марганец (3%).

В составе золы листьев брусники около трети зольного вещества приходится на CaO. Остальные элементы можно расположить в порядке постепенного уменьшения их количества: MnO, P_2O_5, K_2O – 12–14%; SO_3, SiO_2 – 9–10; Al_2O_3, MnO – 6–7; Fe_2O_3 – 2%.

В составе золы листьев черники элементы CaO, K_2O, P_2O_5 образуют первую группу (содержание каждого элемента составляет 18–19%), остальные элементы по порядку постепенного снижения их количества можно расположить в ряд: MgO и Al_2O_3 – 11–13%, SiO_2 и SO_3 – 7–8; MnO и Fe_2O_3 – 4–2%. Таким образом, различные виды растений напочвенного покрова, отмирая, вносят в подстилку в зависимости от химического состава растения и от количества опада различное количество химических

Fe	Ca	Mg	Mn	P	K	S
0,15	0,68	0,20	0,08	0,16	0,33	0,12
0,05	0,12	0,09	0,04	0,09	0,13	0,05
0,04	0,63	0,21	0,15	0,17	0,37	0,11
0,02	0,13	0,06	0,06	0,04	0,11	0,05
0,05	0,77	0,34	0,15	0,42	0,81	0,15
0,02	0,13	0,09	0,02	0,16	0,26	0,04

Зеленый мох	Черника	Зеленый мох	Черника	Зеленый мох	Черника
Al		Fe		Ca	
5,8	16,6	10,5	2,2	2,3	3,8
13,0		11,2		3,7	
P		K		S	
0,5	7,3	1,3	7,7	0,8	3,8
9,4		16,7		3,0	

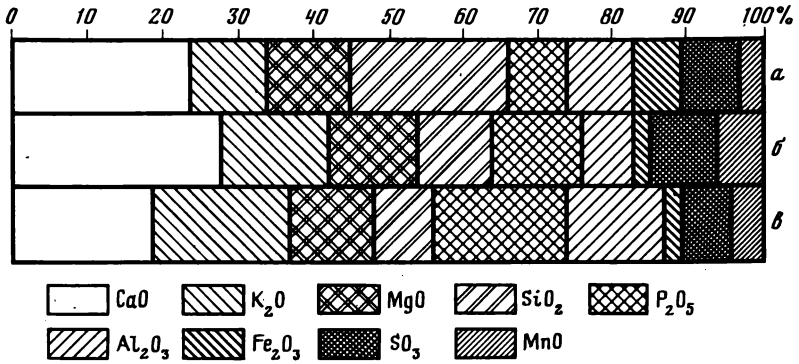


Рис. 4. Структура зольного вещества зеленых мхов (*а*), брусники (*б*) и черники (*в*)

элементов. Исследованиями В.И. Левиной [1960] установлено, что в сосновых лесах Кольского полуострова величина ежегодного опада отдельных видов растений напочвенного покрова по отношению к весу надземной части составляет: для зеленых мхов – 21,7% (опад приравнен приросту), для брусники 9,7; для черники – 16,5%. В тоннах на гектар в сосняке зеленомошном опад зеленых мхов составляет 0,35, брусники – 0,49, черники – 0,74.

Таким образом, экологические условия и своеобразие питания растений определяют варьирование их химического состава. Содержание азота и зольных элементов в зеленых мхах в связи с преимущественным потреблением этих элементов из подстилок и стекающих с крон вод, химические свойства которых динамичны, подвержено наибольшим колебаниям. Кустарнички (брусника и черника) характеризуются большей стабильностью химического состава, поскольку элементы питания они потребляют из гумусового горизонта, свойства которого в отличие от подстилок более постоянны. В химическом составе листьев кустарничков (брусники и черники) и зеленых мхов преобладают азот и кальций, что дает основание считать, что в лесах, где доминируют в напочвенном покрове эти растения, устанавливается кальциево-азотный тип круговорота веществ. Зеленые мхи, содержащие в своем составе значительные количества кремния, должны способствовать его биологическому накоплению в почвах.

Глава V

БИОМАССА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

БИОМАССА НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Наибольшую биомассу в лесах образует древесный полог. Она составляет, по обобщенным данным [Родин, Базилевич, 1965], в хвойных и лиственно-хвойных лесах от 50 до 350 т/га.

Надземная масса мохово-кустарничкового покрова редко превышает 20 т/га, т.е. она почти в 25 раз меньше наиболее высоких запасов органического вещества древесного полога. Данные о биомассе напочвенного покрова в горных лесах ограниченны. Как видно из данных А.В. Куминовой, Г.А. Зверевой (1971), в сосняках травяных горно-таежного пояса Восточного Саяна создается сравнительно большой запас фитомассы (21,0 т/га). На равнинных территориях [Левина, 1960; Молчанов, 1961; Терешенкова, 1962; Кылли, 1971; Юркевич, Ярошевич, 1972; Шахова, 1973; и др.] масса напочвенного покрова, например сосняка черничного в Ленинградской области, составляет 2,4 т/га, а в одноименном типе леса Архангельской области – 14,1 т/га. Полученные нами, а также Ю.Д. Абатуровым [1966] данные показывают, что запасы фитомассы напочвенного покрова в разных типах сосновых лесов таежной зоны Урала колеблются от 0,4 до 10,4 т/га. Более того, в пределах одного и того же типа леса (сосняк-брусничник) разных подзон величина запасов биомассы изменяется в больших пределах (табл. 54).

Таблица 54

Запасы фитомассы напочвенного покрова в сосновых лесах

Район исследования	Подзона	Тип леса	Запасы, т/га	Автор
Кольский полуостров	Редкостойная	Сосняк лишайниковый	4,07	Левина, 1960
	северная тайга	Сосняк–ельник–березняк зеленомошный	4,36	”
Архангельская обл.	Северная тайга	Сосняк черничниковый	14,1	Молчанов, 1961
Ленинградская обл.	Южная тайга	”	2,9	Терешенкова, 1962
		”	6,1	”
		”	2,4	”
		”	3,3	”
		”	3,7	”
Эстония	”	Сосняк кисличниковый	1,6	Кылли, 1971
Белоруссия	”	Сосняк вересковый	2,92	Юркевич, Ярошевич, 1972
		Сосняк черничковый	2,58	
Ярославская обл.	Южная тайга	Сосняк кислично-мшистый	0,69	Шахова, 1973
		Сосняк кустарничково-сфагновый	4,85	”
Восточный Саян	Горно-таежный пояс	Сосняк травяной	21,0	Куминова, Зверева, 1971
Урал	Северная тайга	Сосняк брусничный	10,2	Фирсова, Павлова, 1979
		Сосняк бруснично-багульниковый	10,4	”
		Сосняк зеленомошно-ягодниковый	10,0	”
	Средняя тайга	Сосняк брусничный	4,7	”
		Сосняк зеленомошно-ягодниковый	4,1	”
		Сосняк крупнотравный	2,1	”
	Южная тайга	Сосняк брусничный	0,5	”
		Сосняк ягодниковый	0,9	”
		Сосняк разнотравный	1,1	”
	Предлесостепная	Сосняк брусничный	0,4	”
		Сосняк ягодниковый	1,0	”
		Сосняк зеленомошно-ягодниковый	1,0	”
		Сосняк разнотравный	1,0	”
	Предлесостепная	Сосняк брусничный	0,5	Абатуров, 1966
		Сосняк ягодниковый	1,0	”
		Сосняк разнотравно-орляковый	1,4	”

Таблица 55

Запасы фитомассы напочвенного покрова в сосняках таежной зоны, т/га

№ пробной площадки	Тип сосняка	Повторность				
		1	2	3	4	5
		Северная и средняя тайга				
3 (65)	Зеленомошно-ягодниковый	10,73	11,58	9,63	10,00	10,26
4 (65)	"	8,53	12,28	12,17	8,16	9,81
12 (65)	"	11,56	8,34	11,73	8,94	8,58
14 (65)	"	9,82	8,34	11,10	11,20	8,60
6 (66)	Бруснично-багульниковый	9,33	12,84	8,90	12,43	8,75
11 (65)	"	12,71	8,35	11,46	9,51	12,17
10 (65)	"	12,31	8,13	8,96	10,06	9,79
15 (65)	Брусничный	8,16	12,40	9,14	11,90	7,70
17 (66)	"	12,03	8,31	10,15	9,34	13,22
20 (65)	"	4,09	4,22	5,82	4,38	5,19
14 (69)	Зеленомошно-ягодниковый	3,26	3,15	4,21	4,04	4,32
15 (69)	"	4,04	4,13	4,29	4,47	4,01
18 (65)	Крупнотравный	2,03	1,55	1,79	2,02	1,89
19 (65)	"	2,23	2,03	2,52	2,00	1,73
16 (69)	"	2,06	2,14	2,25	2,31	1,86
		Южная тайга				
30 (68)	Брусничный	0,38	0,39	0,40	0,52	0,53
33 (68)	"	0,60	0,42	0,48	0,58	0,59
31 (68)	Ягодниковый	0,72	0,79	0,83	0,76	0,76
34 (68)	"	0,67	0,69	1,11	0,91	1,01
32 (68)	Разнотравный	0,83	0,92	0,89	1,20	1,24
35 (68)	"	0,95	1,20	1,00	1,13	1,24
		Предлесостепная подзона				
20 (68)	Брусничный	0,56	0,38	0,40	0,50	0,34
5 (68)	"	0,39	0,41	0,31	0,26	0,29
6 (68)	Ягодниковый	0,84	1,24	1,16	0,96	0,79
18 (68)	"	0,84	0,94	1,23	1,15	1,00
26 (68)	"	1,01	0,96	0,91	0,75	0,78
3 (68)	Зеленомошно-ягодниковый	0,75	1,01	1,10	0,78	1,05
4 (68)		0,85	1,23	0,89	1,12	0,93
25 (68)	"	0,78	0,80	0,81	1,01	1,08
2 (68)	Разнотравный	1,03	1,46	1,08	1,38	1,13
7 (68)	"	0,78	1,13	1,09	0,81	1,01
8 (68)	"	0,79	1,13	0,82	1,08	1,03
17 (68)	"	0,79	0,84	1,18	1,02	1,01
23 (68)	"	0,69	1,00	0,71	0,96	0,80

Повторность					$\bar{x}$	σ	P, %
6	7	8	9	10			
			Северная и средняя тайга				
9,21	11,03	10,83	11,30	11,33	10,59	0,78	2,3
9,51	10,62	10,23	10,19	10,40	10,19	1,33	4,1
9,51	10,26	10,04	8,30	11,04	9,83	1,29	4,1
9,30	9,50	8,40	8,13	7,81	9,22	1,19	4,1
9,67	10,51	11,03	10,42	10,02	10,45	1,38	4,2
9,68	11,56	11,08	11,03	10,85	10,84	1,31	3,8
11,53	9,86	9,90	9,02	9,12	9,85	1,24	4,0
8,78	11,13	10,04	8,13	11,22	9,86	1,71	5,5
9,54	11,01	10,73	11,22	10,55	10,61	1,39	4,2
4,26	4,84	4,71	4,83	5,06	4,74	0,53	3,4
4,03	3,96	3,71	3,61	3,67	3,80	0,38	1,3
4,85	4,71	4,85	4,95	4,40	4,51	0,52	3,7
1,63	2,01	1,83	1,94	1,81	1,85	0,16	0,3
1,86	2,18	2,10	2,03	2,32	2,50	0,23	3,4
2,65	2,77	2,86	2,36	2,00	2,33	0,33	4,5
			Южная тайга				
0,30	0,36	0,38	0,58	0,66	0,45	0,09	5,0
0,46	0,40	0,39	0,70	0,70	0,53	0,10	4,9
1,02	1,09	1,25	0,88	1,18	0,93	0,15	4,0
0,79	0,64	1,20	0,72	0,70	0,84	0,17	5,3
1,15	1,13	1,21	0,92	1,31	1,08	0,15	3,4
1,05	1,32	0,78	0,91	1,04	1,06	0,21	5,0
			Предлесостепная подзона				
0,58	0,41	0,59	0,40	0,45	0,46	0,09	6,1
0,45	0,27	0,40	0,25	0,30	0,33	0,07	6,7
1,25	1,17	0,86	0,80	1,00	1,01	0,18	5,7
1,01	0,81	1,17	1,02	1,02	1,02	0,13	4,2
0,65	0,69	1,03	0,72	1,03	0,85	0,14	5,4
0,84	0,89	1,11	1,04	1,05	0,96	0,13	4,4
1,01	0,91	1,09	0,87	0,87	0,98	0,13	4,2
1,14	0,98	1,10	0,88	1,00	0,96	0,13	4,3
1,32	1,20	1,28	1,23	1,33	1,24	0,13	3,4
0,89	0,91	0,95	0,86	0,87	0,93	0,12	4,0
0,90	0,94	0,99	1,10	1,11	0,99	0,12	3,8
0,86	0,95	0,99	1,05	1,14	0,98	0,12	4,0
0,89	0,84	0,86	0,77	0,90	0,84	0,10	3,6

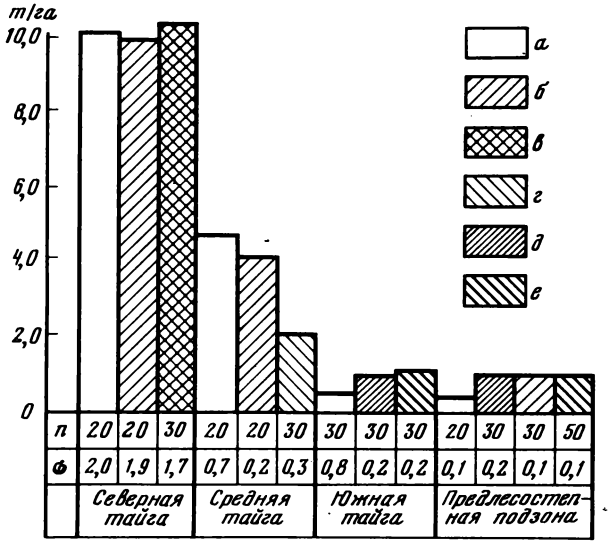


Рис. 5. Запасы фитомассы напочвенного покрова в сосновых лесах Урала

Сосняки: *а* – брусничный, *б* – зеленомошно-ягодниковый, *в* – бруснично-багульниковый, *г* – крупнотравный, *д* – ягодниковый, *е* – разнотравный

Развитие напочвенного покрова, а следовательно, и запасы фитомассы зависят, как известно, от древесного полога, в частности от его возраста, полноты, состава, что не всегда учитывалось в проводимых ранее работах. В связи с этим не представляется возможным сравнить запасы фитомассы в лесах разных регионов, выявить закономерности их изменения с севера на юг по подзонам одной зоны или по разным зонам. Это в значительной степени затруднялось еще тем, что исследований, охватывающих одновременно большую территорию, например всю таежную зону, до сих пор не проводилось. Учитывая это, нами была сделана попытка проследить изменение запасов фитомассы напочвенного покрова в разных типах преимущественно чистых спелых сосновых лесов в подзонах северной, средней и южной тайги и предлесостепных сосново-березовых лесов Урала. При постановке исследований мы исходили также из того, что растения напочвенного покрова, несмотря на небольшую массу по сравнению с древесными, концентрируют значительную часть питательных элементов. Так, по данным Н.И. Пьявченко [1960], отмирающий покров мхов в ельнике болотно-травяном составляет 28% от общей массы опада, а на его долю приходится калия 73%, фосфора – 50, азота – 42% от общего его запаса в опаде.

В сосновом лесу с преобладанием в напочвенном покрове зеленых мхов и разнотравья, как показал Скотт [Scott, 1955], опад их составляет 15% от общей массы, но он дает в среднем калия 30%, фосфора – 16, азота – 25–50% от всего запаса в опаде.

Для нашего сравнительного изучения запасов фитомассы напочвенного покрова было заложено 280 пробных площадей размером 1 × 1 м^2 в трех преобладающих в каждой подзоне типах лесов: в северной тайге – сосняки

Таблица 56

Средние запасы фитомассы напочвенного покрова в сосновых лесах разных подзон лесной зоны Урала, т/га

Подзона	n	$\bar{x}$	σ
Северная тайга	90	10,19	1,97
Средняя тайга	60	3,66	0,45
Южная тайга	90	0,61	0,14
Предлесостепная	130	0,75	0,13

Таблица 57

Критерий достоверности по Стьюденту (при p – 0,99) запасов фитомассы напочвенного по подзонам

Подзона	Предлесостепная подзона	Средняя тайга	Южная тайга
Северная	40	22	38
Средняя	58		46
Южная	1,4		

брусничный, бруснично-багульниковый и зеленомошно-ягодниковый; в средней тайге – сосняки брусничный, зеленомошно-ягодниковый и крупнотравный; в южной тайге и в предлесостепной подзоне – сосняки брусничный, ягодниковый и разнотравный.

В сосняках брусничных северной тайги напочвенной покров зеленомошно-брусничный с мелкотравьем, из мхов преобладает мох Шребера; в южной тайге преобладает брусника, обильны вейник, костяника, земляника, мелкое разнотравье, редкие пятна зеленых мхов [Лесорастительные условия..., 1973].

Напочвенный покров сосняков зеленомошно-ягодниковых северной тайги состоит из черники, брусники, рассеянно водяники, голубики, багульника и почти сплошного мохового ковра из мха Шребера. В подзоне средней тайги напочвенный покров также зеленомошно-бруснично-черничный, обильны мелкотравье, вейник, из зеленых мхов преобладает мох Шребера. В южной тайге и предлесостепной подзоне, кроме брусники, черники и зеленых мхов, встречаются костяника, зимолюбка, кровохлебка, щитовник Линнея.

В сосняках бруснично-багульниковых напочвенный покров багульниково-брусничный, группами встречается голубика, сплошной моховой ковер, преобладает мох Шребера.

В напочвенном покрове сосняков ягодниковых преобладают брусника, черника, вейник, земляника, розга золотая, ястребинка, подмаренник, зеленые мхи встречаются редкими куртинами.

Напочвенный покров крупнотравного сосняка состоит из борца северного, какалии, василистника, крупных папоротников, мхи встречаются небольшими пятнами. В сосняках разнотравных напочвенный

Таблица 58

Критерий достоверности различий по Стьюденту (при p – 0,99) запасов фитомассы напочвенного покрова в разных подзонах и типах сосняка

Тип сосняка	Северная тайга	
	брусничный	зеленомошно-ягодниковый
Бруснично-багульниковый	0,1	0,6
Зеленомошно-ягодниковый	0,4	

Тип сосняка	Средняя тайга	
	брусничный	крупнотравный
Зеленомошно-ягодниковый	3,0	21,0
Крупнотравный	12,5	

Тип сосняка	Южная тайга	
	разнотравный	ягодниковый
Брусничный	13,4	9,3
Ягодниковый	3,4	

Тип сосняка	Предлесостепная подзона		
	зеленомошно-ягодниковый	ягодниковый	брусничный
Разнотравный	1,0	1,1	19,0
Брусничный	17,0	14,0	
Ягодниковый	0		

покров густой и пестрый по составу: вейник, сныть, герань, розга, володушка, чина весенняя, костяника, подмаренник, лапчатка, медуница, буквица, орляк, перловник, майник.

Полученные данные показывают (рис. 5; табл. 55), что наибольшая фитомасса (около 10 т/га) накапливается в лесах северной тайги. В средней тайге она составляет 2,2–4,8 т/га и резко уменьшается до 0,4–1,1 т/га в южной тайге и в предлесостепных сосново-березовых лесах (табл. 56). Математическая обработка данных (табл. 57) подтвердила достоверность различий между северной тайгой и всеми другими подзонами, а различия в запасах фитомассы между южной тайгой и предлесостепными лесами недостоверны.

Что касается различий между типами леса в пределах одной подзоны, то в северной тайге сравниваемые типы леса характеризуются близкими величинами запасов фитомассы напочвенного покрова. Вычисленный

Таблица 59

Критерий достоверности по Стьюденту (при p – 0,99) запасов фитомассы в сосняках брусничных, зеленомошно-ягодниковых и травяных разных подзон

Брусничные			
Подзона тайги	Предлесостепь	Южная тайга	Северная тайга
Северная	22,8	22,6	3,2
Средняя	28,2	27,9	
Южная	3,3		

Зеленомошно-ягодниковые		
Подзона тайги	Северная тайга	Средняя тайга
Предлесостепная	2,2	55,9
Средняя	13,0	

Крупно- и разнотравные		
Подзона тайги	Южная тайга	Средняя тайга
Предлесостепная	1,9	19,6
Средняя	13,9	

Ягодниковые ассоциации	
Подзона тайги	Предлесостепь
Южная	3,3

критерий достоверности по Стьюденту подтверждает недостоверную разницу (табл. 58). В средней тайге запасы фитомассы уменьшаются от сосняка брусничного (4,7 т/га) к сосняку зеленомошно-ягодниковому (4,1 т/га) и сосняку крупнотравному (2,1 т/га), и разница между ними достоверна. В южной тайге и предлесостепной подзоне в противоположность северной и средней тайге наибольшая масса напочвенного покрова определена не в сосняке брусничном, а сосняке разнотравном, последний имеет вдвое меньшую массу напочвенного покрова, чем сосняки крупнотравные средней тайги. В южнотаежной подзоне масса напочвенного покрова в сосняках брусничном, ягодниковом и разнотравном разнится существенно. В предлесостепной подзоне сосняки ягодниковые, зеленомошно-ягодниковые и разнотравные имеют близкие величины фитомассы (0,96; 0,96; 0,99 т/га соответственно), а сосняки брусничные характеризуются минимальными запасами фитомассы (0,39 т/га).

Таким образом, в исследованных нами сосняках наблюдается значительное уменьшение запасов фитомассы напочвенного покрова с севера на юг. Большая фитомассы напочвенного покрова северной тайги, по-видимо-

му, связана с особенностью травяно-кустарничкового покрова, в составе которого даже в плакорных условиях присутствуют болотные растения: багульник, голубика, водяника [Смолоногов, Никулин, 1963; Горчаковский, 1968; Прокаев, 1976], одревесневшие стебли которых увеличивают весовую массу. Кроме того, северотаежные леса вследствие большой влажности характеризуются высоким проективным покрытием. Очевидно, этим определяются незначительные отличия в запасах фитомассы в разных типах сосновых лесов северотаежной подзоны и достоверно бо́льшая фитомасса (табл. 59) в северных вариантах аналогичных типов леса по сравнению с южными. Недостоверными оказались только различия в запасах фитомассы разнотравных типов леса между предлесостепной и южной тайгой.

Следует отметить, что в северных районах (северная и средняя тайга) минимальные запасы фитомассы напочвенного покрова присущи соснякам крупнотравным, максимальные – соснякам брусничным. В южных подзонах (южной тайге и предлесостепи) – наоборот: наибольшие запасы фитомассы наблюдаются в сосняках разнотравных, наименьшие – в сосняках брусничных.

СОДЕРЖАНИЕ ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И АЗОТА В ФИТОМАССЕ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Определение зольности фитомассы напочвенного покрова показывает (табл. 60), что ее величина возрастает к югу. В северной и средней тайге наименьшая зольность присуща брусничным и бруснично-багульниковым ассоциациям, наибольшая – крупнотравным. Промежуточное положение занимает зеленомошно-ягодниковый напочвенный покров. В южной тайге и в подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов наибольшей зольностью (около 8%) также обладает разнотравный напочвенный покров, брусничные и ягодниковые отличаются наименьшей зольностью, зеленомошно-ягодниковые занимают промежуточное положение.

Среди зольных элементов в фитомассе напочвенного покрова (рис. 6, 7) во всех подзонах доминирует кальций, на долю которого приходится около 30%. Значительное участие в структуре зольного вещества занимает также кремний, составляющий в сумме с кальцием от 42 до 56% от общего количества зольных элементов. На долю Al_2O_3 + K_2O приходится от 17 до 32%, а на сумму MgO + P_2O_5 + SO_3 – 20–29%. В то же время фитомасса напочвенного покрова в разных подзонах и типах леса значительно отличается по соотношению количества зольных элементов в ней. На основе полученных данных выявлена следующая закономерность: содержание азота, фосфора, калия, кальция, магния и серы в напочвенном покрове возрастает с севера на юг, а в пределах одной подзоны – от брусничных типов леса к зеленомошно-ягодниковым и травяным.

В накоплении кремния, алюминия и железа в фитомассе напочвенного покрова выражена иная закономерность. Кремния, например, содержится больше в напочвенном покрове северо- и среднетаежных сосновых лесов по сравнению с южнотаежным и предлесостепными; кроме того, больше его накапливается в зеленомошно-ягодниковом покрове, чем в брусничном и травяном. Снижается к югу содержание алюминия, и минимум его прихо-

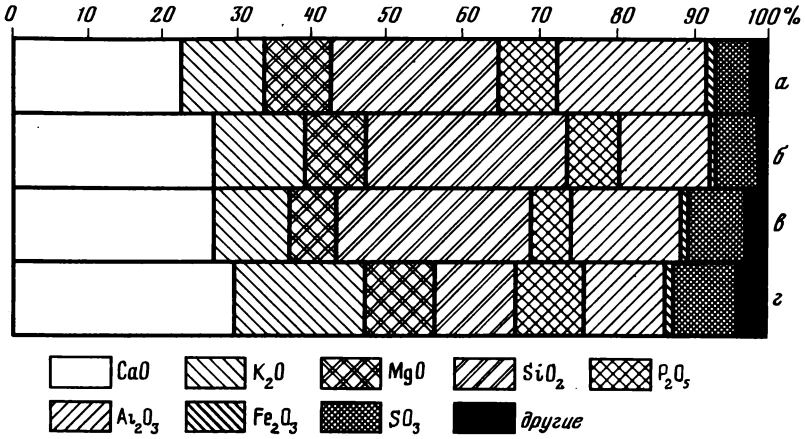


Рис. 6. Структура зольного вещества ассоциаций напочвенного покрова в сосновых лесах северной и средней тайги

Сосняки: *а* — брусничный, *б* — зеленомошно-ягодниковый, *в* — бруснично-багульниковый, *г* — крупнотравный

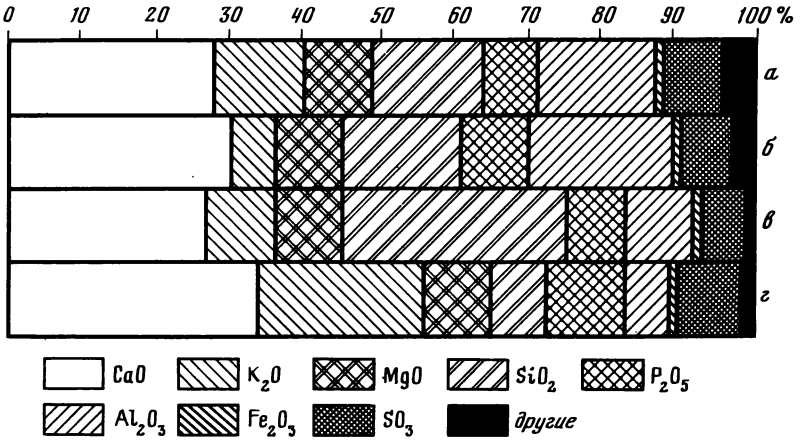


Рис. 7. Структура зольного вещества ассоциаций напочвенного покрова в сосновых лесах южной тайги и предлесостепной подзоны

Сосняки: *а* — брусничный, *б* — ягодниковый, *в* — зеленомошно-ягодниковый, *г* — разнотравный

дится на травяные типы леса. Содержание железа довольно стабильно в напочвенном покрове всех сравниваемых типов леса.

У большинства изученных ассоциаций напочвенного покрова ряды накопления элементов начинаются азотом и кальцием (табл. 61). Исключение составляет разнотравная ассоциация южного района исследования, в химическом составе которой кальция и калия содержится больше, чем азота. В северном районе исследования брусничные, зеленомошно-ягодниковые и

Таблица 60

Химический состав фитомассы напочвенного покрова сосняков в таежной зоне

№ пробной площади	Тип сосняка	Зольность, %	N	Si
1	2	3	4	5
	Северная и средняя тайга			
20 (65)	Брусничный	3,34	0,84	24,07* / 0,37
15 (65)	"	3,48	0,87	28,15 / 0,46
17 (66)	"	2,89	0,73	30,01 / 0,40
12 (65)	Зеленомошно-ягодниковый	3,62	0,76	29,50 / 0,50
14 (65)	"	3,53	0,69	23,00 / 0,38
14 (69)	"	3,79	0,87	25,93 / 0,46
15 (69)	"	4,22	0,88	24,17 / 0,50
6 (66)	Бруснично-багульниковый	2,13	0,56	20,06 / 0,20
10 (65)	"	1,85	0,60	28,87 / 0,25
11 (65)	"	2,08	0,63	17,46 / 0,17
16 (69)	Крупнотравный	5,02	0,96	12,21 / 0,28
18 (65)	"	4,33	1,12	11,37 / 0,23
19 (65)	"	4,97	1,24	10,31 / 0,24
	Южная тайга и предлесостепная подзона			
30 (68)	Брусничный	3,16	0,82	9,46* / 0,14
33 (68)	"	4,12	0,96	16,07 / 0,31
5 (68)	"	3,86	0,80	18,85 / 0,32
6 (68)	Ягодниковый	3,36	0,80	10,17 / 0,16
31 (68)	"	4,23	0,96	18,58 / 0,37
34 (68)	"	3,34	0,92	18,87 / 0,29

Al	Fe	Ca	Mg	P	K	S
6	7	8	9	10	11	12
		Северная и средняя тайга				
14,15 / 0,25	0,43 / 0,01	28,45 / 0,68	5,46 / 0,11	5,49 / 0,08	9,74 / 0,27	7,99 / 0,11
15,23 / 0,28	0,40 / 0,01	25,63 / 0,64	7,12 / 0,15	4,32 / 0,07	10,16 / 0,29	7,13 / 0,10
11,27 / 0,17	0,49 / 0,01	23,71 / 0,49	6,31 / 0,11	8,73 / 0,11	11,25 / 0,27	7,78 / 0,09
12,34 / 0,24	0,39 / 0,01	25,50 / 0,66	8,24 / 0,18	6,33 / 0,10	10,98 / 0,33	6,21 / 0,09
10,27 / 0,19	0,41 / 0,01	27,73 / 0,70	8,45 / 0,18	7,79 / 0,12	13,99 / 0,40	7,79 / 0,11
12,45 / 0,25	0,38 / 0,01	29,89 / 0,81	7,44 / 0,17	5,44 / 0,09	10,49 / 0,33	5,28 / 0,08
13,10 / 0,31	0,32 / 0,01	29,79 / 0,94	8,25 / 0,22	5,71 / 0,11	12,26 / 0,45	6,22 / 0,11
18,30 / 0,21	0,67 / 0,01	25,60 / 0,39	10,12 / 0,13	6,46 / 0,06	10,18 / 0,18	7,04 / 0,06
18,50 / 0,18	0,77 / 0,01	19,65 / 0,26	8,07 / 0,09	9,92 / 0,08	9,12 / 0,14	4,05 / 0,03
21,81 / 0,24	0,48 / 0,01	24,20 / 0,36	7,97 / 0,10	7,72 / 0,07	12,16 / 0,21	6,01 / 0,05
7,53 / 0,20	0,28 / 0,01	24,79 / 0,89	10,24 / 0,31	10,48 / 0,23	18,68 / 0,77	12,64 / 0,24
10,04 / 0,23	0,33 / 0,01	31,03 / 0,96	10,72 / 0,28	9,36 / 0,17	15,78 / 0,56	8,61 / 0,15
16,73 / 0,44	0,28 / 0,01	34,89 / 1,24	6,01 / 0,18	8,92 / 0,19	15,76 / 0,65	7,04 / 0,14
		Южная тайга и предлесостепная подзона				
18,54 / 0,31	0,90 / 0,02	26,99 / 0,61	12,07 / 0,23	8,23 / 0,11	12,20 / 0,32	7,12 / 0,09
16,06 / 0,35	1,73 / 0,05	28,51 / 0,84	8,05 / 0,20	6,31 / 0,11	12,28 / 0,42	7,28 / 0,12
12,24 / 0,25	0,74 / 0,02	28,01 / 0,80	6,44 / 0,15	6,73 / 0,11	12,24 / 0,39	9,06 / 0,14
21,94 / 0,39	0,85 / 0,02	30,30 / 0,73	10,86 / 0,22	10,55 / 0,15	5,37 / 0,15	8,18 / 0,11
18,32 / 0,41	0,67 / 0,02	21,10 / 0,85	8,62 / 0,22	9,50 / 0,17	7,84 / 0,27	6,50 / 0,11
15,84 / 0,28	0,42 / 0,01	31,82 / 0,76	8,44 / 0,17	6,37 / 0,09	6,24 / 0,17	8,98 / 0,12

Таблица 60 (окончание)

1	2	3	4	5
3 (68)	Зеленомошно-ягодниковый	4,20	0,92	31,54 / 0,62
4 (68)	"	4,56	1,03	29,88 / 0,63
35 (68)	Разнотравный	7,23	1,13	8,27 / 0,28
2 (68)	"	8,30	1,56	6,86 / 0,26
32 (68)	"	8,46	1,28	5,05 / 0,20

* В числителе – % в окислах на чистую золу, в знаменателе – % в элементах на абс. сухую навеску.

Таблица 61

Ряды накопления химических элементов различными ассоциациями напочвенного покрова*

Ассоциация	Северная и средняя тайга
Бруснично-багульниковая	$\frac{N}{0,60} > \frac{Ca}{0,34} > \frac{Si}{0,21} = \frac{Al}{0,21} > \frac{K}{0,18} > \frac{Mg}{0,11} > \frac{P}{0,07} > \frac{S}{0,05} > \frac{Fe}{0,01}$
Брусничная	$\frac{N}{0,85} > \frac{Ca}{0,66} > \frac{Si}{0,41} > \frac{K}{0,28} > \frac{Al}{0,26} > \frac{Mg}{0,13} > \frac{S}{0,10} > \frac{P}{0,07} > \frac{Fe}{0,01}$
Зеленомошно-ягодниковая	$\frac{N}{0,79} > \frac{Ca}{0,72} > \frac{Si}{0,45} > \frac{K}{0,36} > \frac{Al}{0,23} > \frac{Mg}{0,17} > \frac{S}{0,11} > \frac{P}{0,10} > \frac{Fe}{0,01}$
Крупнотравная	$\frac{N}{1,11} > \frac{Ca}{1,03} > \frac{K}{0,66} > \frac{Al}{0,29} > \frac{Si}{0,25} = \frac{Mg}{0,25} > \frac{P}{0,20} > \frac{S}{0,18} > \frac{Fe}{0,01}$
	Южная тайга и подзона предлесостепных сосново-березовых лесов
Брусничная	$\frac{N}{0,86} > \frac{Ca}{0,75} > \frac{K}{0,37} > \frac{Al}{0,30} > \frac{Si}{0,25} > \frac{Mg}{0,19} > \frac{S}{0,12} > \frac{P}{0,11} > \frac{Fe}{0,01}$
Ягодниковая	$\frac{N}{0,89} > \frac{Ca}{0,78} > \frac{Al}{0,36} > \frac{Si}{0,27} > \frac{Mg}{0,20} = \frac{K}{0,20} > \frac{P}{0,14} > \frac{S}{0,11} > \frac{Fe}{0,02}$
Зеленомошно-ягодниковая	$\frac{N}{0,97} > \frac{Ca}{0,84} > \frac{Si}{0,61} > \frac{K}{0,31} > \frac{Mg}{0,23} > \frac{Al}{0,20} > \frac{P}{0,15} > \frac{S}{0,11} > \frac{Fe}{0,02}$
Разнотравная	$\frac{Ca}{1,98} > \frac{K}{1,45} > \frac{N}{1,32} > \frac{Mg}{0,44} > \frac{P}{0,38} > \frac{S}{0,29} > \frac{Al}{0,26} > \frac{Si}{0,25} > \frac{Fe}{0,04}$

* Приведенные ряды накопления элементов составлены по средним данным.

6	7	8	9	10	11	12
10,35 / 0,23	1,02 / 0,03	26,97 / 0,81	8,68 / 0,22	6,75 / 0,12	8,44 / 0,29	5,35 / 0,09
7,46 / 0,18	0,63 / 0,02	26,44 / 0,86	8,72 / 0,24	9,33 / 0,18	8,75 / 0,33	7,13 / 0,13
4,70 / 0,18	0,59 / 0,03	39,15 / 2,02	10,44 / 0,45	7,25 / 0,23	20,17 / 1,21	8,14 / 0,23
6,60 / 0,29	1,20 / 0,07	30,59 / 1,99	8,99 / 0,45	10,98 / 0,40	23,05 / 1,58	10,26 / 0,34
6,73 / 0,30	0,33 / 0,02	31,98 / 1,93	8,09 / 0,41	14,19 / 0,52	22,13 / 1,55	9,14 / 0,31

бруснично-багульниковые ассоциации имеют аналогичные ряды накопления: на третьем месте стоит кремний; четвертое, пятое, шестое занимают калий, алюминий, магний, три последних – фосфор, сера, железо. Крупнотравная ассоциация отличается бо́льшим содержанием калия: он занимает третье место; кремний – пятое. Брусничная, ягодниковая, зеленомошно-ягодниковая ассоциации южного района исследования имеют одинаковое чередование преобладающих (азота и кальция) и находящихся в минимуме элементов (фосфора, серы, железа). Брусничная ассоциация на третьем месте имеет калий, ягодниковая – алюминий, зеленомошно-ягодниковая – кремний. Ряд накопления элементов разнотравной ассоциации существенно отличается от вышеописанных. Первых два места занимают кальций и калий, третье – азот, по абсолютным величинам содержания калия и азота близки между собой. Магний занимает четвертое место, в то время как в других ассоциациях – шестое или пятое. Значительно переместились фосфор и сера: если во всех остальных рядах накопления они занимали два предпоследних места (7-е и 8-е), то в разнотравной ассоциации эти места заняты алюминием и кремнием.

Поскольку накопление в почве азота, являющегося одним из основных элементов питания, происходит за счет поступающего на поверхность почвы опада растительности, представляет интерес определить насыщенность азотом фитомассы напочвенного покрова в разных типах леса. Для этой цели используют [Кылли, 1971] отношение беззольное вещество: азот. Величина этого отношения уменьшается с севера на юг, а среди сравниваемых типов леса – от брусничного к ягодниковому и травяному напочвенному покрову, т.е. в этом направлении насыщенность азотом растений возрастает (табл. 62).

Определение запасов азота и зольных элементов (табл. 63) в фитомассе напочвенного покрова показало, что в южных районах они значительно меньше, чем в северных. Так, в разных типах сосновых лесов в северной

Таблица 62

Соотношения зольных элементов и азота в фитомассе напочвенного покрова

Напочвенный покров	№ пробной площадки	Беззольное в-во / азот	№ пробной площадки	Беззольное в-во / азот
	Северная тайга		Южная тайга	
Бруснично-багульниковый	6 (66)	175		
	10 (65)	164		
	11 (65)	155		
Брусничный	17 (66)	133	30 (68)	118
	20 (65)	115	33 (68)	100
	15 (65)	111	5 (68)	120
Зеленомошно-ягодниковый	12 (65)	127	3 (68)	104
	14 (65)	138	4 (68)	93
	14 (69)	111		
	15 (69)	109		
Ягодниковый			6 (68)	121
			31 (68)	100
			34 (68)	105
Травяной	16 (69)	99	35 (68)	82
	18 (65)	85	2 (68)	59
	19 (65)	77	32 (68)	71

Таблица 63

Запасы зольных элементов и азота в фитомассе напочвенного покрова сосняков разных подзон, кг/га

Тип сосняка	Северная тайга		Средняя тайга		Южная тайга		Предлесостепная подзона	
	N	Зольные элементы	N	Зольные элементы	N	Зольные элементы	N	Зольные элементы
Бруснично-багульниковый	62	121	–	–	–	–	–	–
Брусничный	81	185	40	89	5	11	3	7
Ягодниковый	–	–	–	–	8	19	3	19
Зеленомошно-ягодниковый	66	185	36	101	–	–	9	22
Травяной	–	–	23	60	13	52	19	68

тайге запасы азота колеблются от 62 до 81 кг/га, а сумма зольных элементов – от 121 до 185 кг/га. В южной тайге и предлесостепных лесах запасы азота и зольных элементов почти в 10 раз меньше, чем в северной тайге.

По увеличению запаса элементов в фитомассе напочвенного покрова она располагается в следующем порядке: брусничная, ягодниковая, зеленомошно-ягодниковая и травяная.

Итак, в фитомассе напочвенного покрова наблюдаются значительные различия как в содержании зольных элементов, так и в количестве общей массы в зависимости от характера составляющей растительности и зональной приуроченности.

Глава VI

ЗАПАСЫ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДСТИЛОК СОСНОВЫХ ЛЕСОВ УРАЛА

Лесная подстилка обладает рядом специфических свойств, присущих только ей и отличающих ее от других компонентов биогеоценоза.

Г.Н. Высоцкий [1911], С.А. Захаров [1931] и Г.Ф. Морозов [1926] считали, что лесная подстилка – это самостоятельное образование лесного биогеоценоза, отличное от почвы. Современные исследователи [Шумаков, 1958; Кошельков, 1961; Зонн, 1964; Зонн, Урушадзе, 1974; Карпачевский, 1981] отмечают, что только изучение лесной подстилки как особого биогеоценотического горизонта может наиболее полно раскрыть взаимосвязи растительности и почвы. Это обосновывается тем [Зонн, 1964], что: подстилка, во-первых, есть результат жизнедеятельности организмов; во-вторых, подстилка, концентрируя в себе большое количество зольных элементов, активно воздействует на почвы, изменяя их свойства; в-третьих, при ее разложении высвобождаются зольные вещества и тепловая энергия, что способствует их аккумуляции и регулированию выноса подвижных соединений; в-четвертых, подстилка является горизонтом наиболее активной биогеоценотической деятельности растений и животных; в-пятых, она является основным источником гумусообразования лесных почв. Роль лесной подстилки в биогеоценотическом процессе и почвообразовании значительно возрастает в горных условиях по сравнению с равнинными территориями, так как "в горных условиях усиливается межбиогеоценозное перераспределение опада и подстилок по склонам" [Зонн, Урушадзе, 1974, с. 20].

"Изучение подстилки, характера ее формирования, степени влияния на другие компоненты биогеоценоза представляется важной и актуальной темой, не случайно привлекшей внимание исследователей" [Карпачевский, 1973, с. 51]. Кроме того, подстилка может служить диагностическим признаком выделения типов биогеоценозов [Зонн, 1964].

Лесная подстилка является объектом исследования почти два столетия. Интерес к изучению ее лесоведами и почвоведами многих стран возрос в связи с исследованиями датского ученого Мюллера, который выделил в буковых лесах Дании два основных типа подстилки: муль – мягкий перегной и мор – грубый перегной.

В нашей стране после работ Г.Ф. Морозова [1926] и М.Е. Ткаченко [1952] принято подразделять подстилки на две большие группы: грубогумусовые, или слаборазложившиеся (торфянистые), и мягкогумусовые, или сильноразложившиеся (перегнойные). Первые свойственны хвойным, вторые – лиственным лесам. С.Н. Кошельков [1961] в качестве придержек для установления основных типов подстилок в сосновых и еловых лесах предлагает подразделять их на слабогрубогумусную, грубогумусную, торфянистую и торфяную. Н.Н. Степанов [1929], В.С. Шумаков [1958], Н.П. Ремезов [1953] классифицируют лесные подстилки по характеру напочвенного покрова.

И.С. Мелехов [1957] рекомендует классифицировать подстилки по их мощности и кислотности. С.В. Зонн, Г.Ф. Урушадзе [1974] предлагают подразделять подстилки в зависимости как от морфологических, так и биохимических признаков (табл. 64).

Л.О. Карпачевский [1981] считает, что источником фульвокислот является прежде всего наземная фитомасса, источником гуминовых кислот – корни и корневища растений травяного яруса. Этим же автором установлено, что существует высокая коррелятивная зависимость между массой опада (подстилки) и содержанием гумуса в горизонте A_1. Отмечаются прямая связь между количеством опадающей хвои и содержанием фульвокислот и отсутствие связи с содержанием гуминовых кислот. Содержание гуминовых кислот коррелирует с периодом биологической активности – переходом суточной температуры через +10° [Орлов, 1974]. Таким образом, в зависимости от массы подстилки и условий ее разложения формируется гуматное или фульфатное органическое вещество, что и оказывает существенное влияние на специфику образования почвенного профиля.

Подстилки обычно подразделяют на следующие подгоризонты [Степанов, 1929; Кошельков, 1961; Манаков, 1961; Смирнов, 1971]:

A_0' Почти неразложившийся опад последнего года, лишь изменивший свой цвет.
A_0'' Полуразложившиеся ферментативные растительные остатки с легко различимыми их частями.
A_0''' Однородная темная масса без ясно различимых растительных остатков.

По мощности и запасам этих слоев можно судить об условиях, благоприятствующих или тормозящих разложение подстилки. При быстром разложении подстилки может выделяться один лишь подгоризонт A_0'. Наличие подгоризонта A_0''' говорит о незначительном и медленном разложении подстилки; наличие только подгоризонтов A_0' и A_0'' – о средних по благоприятности условиях разложения подстилки. Одно из важнейших особенностей подстилки – изменение ее количеств в течение года, что связано с сезонным поступлением опада и его разложением: запасы подстилки увеличиваются в конце и начале вегетационного периода и снижаются летом.

Накопление подстилки – процесс биогеоценотический, который зависит не только от количества и качества поступающего опада, но и от взаимодействия с микробо- и зооценозами. Еще Раманн [Ramann, 1905], Хессельман [Hesselman, 1926], Г.Ф. Морозов [1926] отмечали, что формирование подстилок, их запасы и свойства зависят от термических условий, влажности и растительности. Многочисленными более поздними исследованиями [Шумаков, 1941, 1958; Зонн, 1954; Ремезов, 1954; Кошельков, 1961,

Таблица 64

Группировки лесных подстилок [Зонн, Урушадзе, 1974]

Морфологические		Биохимические группы и показатели	
группа	вид	группа	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$
Торфянистая	Влажноторфянистая Сухоторфянистая	Фульватная	< 0,2
Груборазложившаяся	Грубохвойная Грубохвойно-лиственная	Гуматно-фульватная	0,2–0,5
Мягкоразложившаяся	Мягкохвойно-лиственная	Фульватно-гуматная	0,5–0,7
	Мягколиственная	Гуматная	> 0,7

1964; Родин, Базилевич, 1965; Вайчис, 1975] установлено, что запасы подстилок варьируют очень значительно: они уменьшаются от северных подзон к южным, от хвойных лесов к широколиственным (табл. 65). Однако некоторыми исследователями [Василевская, 1958; Молчанов, 1961; Корнев, 1966] отмечено, что в средней тайге в связи с возрастанием массы опада, но еще недостаточным количеством тепла, необходимого для их более полной минерализации, запасы подстилок больше, чем в северной и южной тайге. Запасы подстилок увеличиваются с высотой местности [Зонн, 1950б; Кашибадзе, Тарасашвили, 1967].

В пределах одного и того же типа леса количество подстилки увеличивается с плотностью древостоя [Поздняков, 1953] от периферии проекции кроны к центру и от весны к осени [Травникова, 1961; Винокуров и др., 1964; Карпачевский, Киселева, 1968; Кылли, Кьяхрик, 1970].

В литературе не существует единого мнения о том, под пологом какой древесной породы образуется большая масса лесной подстилки. Однако ряд исследователей [Зонн, 1954; Говоренков, 1972; Вайчис, 1975] утверждают, что наибольшие запасы подстилок имеются в сосновых лесах, что объясняется бедностью соснового опада зольными элементами и азотом и большим содержанием танина и других дубильных веществ, тормозящих разложение опада. Однако, по наблюдениям Т.В. Кашибадзе, Н.Г. Тарасашвили [1967], в горных условиях запасы подстилок сосняков оказались во много раз меньше, чем под ельниками и пихтарниками.

Запасы подстилок под сосняками, как и под другими древесными породами, зависят от типа леса [Мелехов, 1957; Абатуров, 1966; Репневская, 1970; Рябуха, 1972] и увеличиваются от сухих условий обитания к влажным. Из приведенных в табл. 65 данных очевидно, что запасы подстилок в зависимости от климатических условий под пологом сосновых лесов колеблются от 1 до 88 т/га.

На Урале запасы подстилок в сосняках определялись в пределах среднетаежных лесов Н.А. Луганским, В.М. Земцовым [1968] и подзоны предлесостепных сосново-березовых лесов – Ю.Д. Абатуровым [1966]. Только

Таблица 65

Запасы подстилок под сосновыми лесами

Тип сосняка	Запас, т/га	Местоположение	Автор
1	2	3	4
Не указан	1–3	Кавказ, 800 м над ур. м.	Кашибадзе, Тарасашвили, 1967
	2–5	1200	”
	4–7	1800	”
Лишайниковый	13	Ярославская обл.	Кошельков, 1961
Брусничный	38	”	”
Черничный	38	”	”
Кисличный	24	Эстония	Кылли, Ингермаа, 1970
Зеленомошно-черничный	75	Карелия	Говоренков, 1972
Брусничный	40–69	Эстония	Райд, 1969
Черничный	33–93	”	”
Лишайниковый	17	Кольский полуостров	Терешенкова, 1962
Брусничный	42	”	”
Черничный свежий	65	”	”
Черничный влажный	82	”	”
Лишайниково-мшистый	17	Архангельская обл.	Молчанов, 1952, 1961
Мшистый	21	”	”
Черничный	36	”	”
Лишайниково-мшистый	15	Московская обл.	”
Мшистый	19	”	”
Черничный	31	”	”
Брусничный	22	Белоруссия	Василевская, 1958
Кисличный	16	”	”
Толокнянниковый	8–12	Якутия	Поздняков, 1953
Бруснично-зеленомошный	23–35	Нижняя Тунгуска	Поздняков и др., 1969
Бруснично-зеленомошный	19–25	Подкаменная Тунгуска	Поздняков и др., 1969
Разнотравно-брусничный	17	Красноярская лесостепь	”
Травяной	88	Средний Урал	Луганский, Земцов, 1968
Черничный	70	”	”
Брусничный	79	”	”
Разнотравный	20–25	Южный Урал	Абатуров, 1966
Ягодниковый	30–35	”	”
Брусничный	40–45	”	”
	45	Северный Урал	Фирсова, Павлова, 1979
Бруснично-багульниковый	65	”	”
Зеленомошно-ягодниковый	64	”	”
Брусничный	47	Средний Урал	”

Таблица 65 (окончание)

1	2	3	4
Зеленомошно-ягодниковый	47	"	"
Крупнотравный	34	"	"
Брусничный	45	Южный Урал	"
Ягодниковый	40	"	"
Зеленомошно-ягодниковый	24	"	"
Разнотравный	20	"	"

на Урале запасы подстилок в сосняках брусничных в разных подзонах изменяются от 79 до 34 т/га, а в травяных – от 88 до 20 т/га. Разные методики определения массы подстилок и разные сроки ее взятия не позволяют с большой определенностью сравнивать запасы подстилок, определенные разными исследователями.

Л.О. Карпачевский [1973] предлагает разделять подстилку на две части – активную (хвоя, листья, семена, труха, мох, трава) и неактивную (сучья, ветки, шишки, кора). Поступление активной фракции происходит ритмично, и колебания запасов ее значительно меньше, чем неактивной. Разложение активной части происходит быстрее, и она скорее включается в трофическую цепь (клещи, дождевые черви, личинки двукрылых и т.д.). Для выяснения направленности биологического круговорота, скорости высвобождения химических элементов изучение именно активной части подстилки имеет большое значение.

Изучение активной части подстилки, проведенное авторами, позволило впервые выявить закономерности изменения свойств и запасов подстилок в разных типах леса таежной зоны Урала.

ЗАПАСЫ ПОДСТИЛОК СОСНОВЫХ ЛЕСОВ УРАЛА

Наибольшие запасы подстилок (рис. 8; табл. 66) наблюдаются в сосняках северной тайги, где величина их в трех сравниваемых типах леса (брусничный, бруснично-багульниковый, зеленомошно-ягодниковый) составляет 45–64 т/га. В средней и южной тайге запасы ее уменьшаются до 31–47 т/га, а в предлесостепной подзоне – до 20–44 т/га. Таким образом, с севера на юг в пределах таежной зоны запасы подстилок уменьшаются. Однако следует заметить, что эта закономерность отчетливо проявляется не во всех типах леса. Так, запасы подстилок сосняков травяных постепенно уменьшаются в более южных подзонах (33,7–31,2–20,0 т/га). По мере движения к югу уменьшаются также запасы подстилок и в сосняках зеленомошно-ягодниковых – от 64,4 т/га в северной тайге до 47,0 т/га в средней и до 23,8 т/га в предлесостепной подзоне. Резкое уменьшение запасов подстилки в сосняках зеленомошно-ягодниковых, по-видимому, объясняется, помимо изменения термических условий, изменением флористического состава напочвенного покрова. Как уже указывалось, в напочвенном покро-

Таблица 66

Запасы подстилок в сосновых лесах Урала, т/га

№ пробной площади	Тип сосняка	Горизонт	Количество повторностей		
			1	2	3
1	2	3	4	5	6
		Северная тайга			
17 (66)	Брусничный	A_0'	11,5	12,9	13,7
		A_0''	34,9	35,2	35,1
		Σ	46,4	48,1	48,8
15 (66)	"	A_0'	14,2	15,7	16,8
		A_0''	29,8	26,1	25,6
		Σ	44,0	41,8	42,5
6 (66)	Бруснично-багульниковый	A_0'	13,6	14,1	15,0
		A_0''	48,1	49,2	50,1
		Σ	61,7	63,3	65,1
11 (65)	"	A_0'	17,0	17,5	18,1
		A_0''	50,1	48,2	47,9
		Σ	67,1	65,7	66,0
10 (65)	"	A_0'	20,6	21,2	22,5
		A_0''	38,6	39,7	37,2
		Σ	59,2	60,9	59,7
3 (65)	Зеленомошно-ягодниковый	A_0'	20,1	21,5	22,5
		A_0''	44,0	43,5	42,7
		Σ	64,1	67,0	65,2
4 (65)	"	A_0'	25,0	24,5	25,3
		A_0''	32,2	34,1	33,5
		Σ	55,2	58,6	58,8
12 (65)	"	A_0'	16,7	17,6	18,9
		A_0''	51,1	50,0	49,2
		Σ	68,8	67,6	68,1
14 (65)	"	A_0'	20,0	20,7	21,8
		A_0''	48,0	47,2	46,1
		Σ	68,0	67,9	67,9
		Средняя тайга			
14 (69)	"	A_0'	13,8	14,4	14,9
		A_0''	30,1	29,8	36,1
		Σ	43,9	44,3	51,0
15 (69)	"	A_0'	12,4	13,5	14,1
		A_0''	34,1	33,1	33,5
		Σ	46,5	46,7	47,6
18 (65)	Крупнотравный	A_0'	8,2	8,8	9,1
		A_0''	12,4	14,3	11,6
		Σ	20,6	23,1	20,7
19 (65)	"	A_0'	8,6	9,1	9,8
		A_0''	30,0	24,5	23,8
		Σ	38,6	33,6	33,6

Количество повторностей							$\overline{x}$	σ
4	5	6	7	8	9	10		
7	8	9	10	11	12	13	14	15
				Северная тайга				
15,8	15,1	16,2	16,8	10,5	11,3	10,2	13,4	2,47
34,6	38,9	34,1	31,1	42,4	43,5	39,5	36,4	4,00
50,4	49,0	50,3	47,9	53,0	54,8	49,7	49,8	2,49
17,3	16,3	17,5	14,3	18,5	19,3	15,3	16,5	1,69
20,8	16,6	30,0	29,6	24,1	21,5	16,5	24,1	5,13
38,1	32,8	47,6	43,8	42,6	40,8	31,8	40,6	4,99
14,8	16,1	17,4	18,5	17,5	12,4	10,5	15,0	2,46
52,0	53,2	54,3	57,1	52,2	56,1	56,2	52,8	3,10
66,8	69,3	71,7	75,6	69,7	68,5	66,7	67,8	4,06
19,0	21,6	20,4	22,4	24,1	22,0	16,2	19,8	2,66
46,8	45,1	44,6	42,1	40,8	47,5	47,5	46,1	2,89
65,8	66,7	65,0	64,5	64,9	69,5	63,7	65,9	1,65
24,0	24,1	25,8	26,9	27,1	23,1	25,1	24,0	2,25
35,8	36,2	34,6	33,1	31,0	40,0	38,0	36,4	2,89
59,8	60,3	60,4	60,0	58,1	63,1	63,1	60,4	1,59
23,1	20,1	25,1	26,6	27,3	28,5	25,3	24,0	1,00
41,4	39,6	38,8	37,8	36,4	35,8	41,3	40,1	0,99
64,5	59,7	63,9	64,4	63,7	64,3	66,6	64,1	0,61
26,6	27,7	28,0	29,8	30,3	31,3	32,1	28,1	2,75
32,5	31,3	29,1	28,3	27,2	28,7	25,3	30,2	2,92
59,1	59,0	57,1	58,1	57,5	60,0	57,4	58,3	0,96
19,6	21,1	22,8	23,6	24,8	19,3	20,0	20,4	2,62
48,3	45,3	44,4	45,3	46,2	45,0	53,5	47,8	3,07
67,9	66,4	67,2	68,9	71,0	64,3	73,5	68,2	2,48
22,5	24,1	25,3	26,6	27,1	20,1	23,1	23,1	2,59
45,3	43,4	42,7	41,8	41,0	45,2	40,0	44,0	2,73
67,8	67,5	67,0	68,4	68,1	65,3	63,1	67,1	1,69
				Средняя тайга				
15,9	16,8	17,2	19,1	19,3	17,0	15,0	16,3	1,89
32,1	33,6	29,8	27,2	35,8	34,0	35,5	32,4	3,08
48,0	50,4	47,0	46,2	55,1	51,0	50,5	48,7	3,52
15,9	16,7	17,3	18,1	18,6	12,2	12,3	15,1	2,50
30,1	29,8	27,2	27,0	29,8	27,2	30,2	30,2	2,65
46,0	46,5	44,5	45,1	48,4	39,4	42,5	45,3	2,67
9,6	10,1	11,8	11,1	12,0	9,0	9,0	9,9	1,33
12,8	11,2	18,3	12,5	14,8	22,5	23,1	15,3	4,42
22,4	21,3	40,1	23,6	26,8	31,5	32,1	25,2	4,55
11,3	10,2	12,3	11,2	9,6	11,0	10,2	10,3	1,11
22,1	28,7	20,8	29,4	29,5	23,1	29,4	26,1	3,59
33,4	38,9	33,1	40,6	39,1	34,1	39,6	36,4	3,10

Таблица 66 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
		Средняя тайга			
16 (69)	"	A_0'	15,2	11,9	12,5
		A_0''	28,6	28,1	29,7
		Σ	43,8	40,0	42,3
		Южная тайга			
30 (68)	Брусничный	A_0'	12,4	11,8	15,8
		A_0''	28,2	39,6	40,1
		Σ	40,6	51,4	55,9
33 (68)	"	A_0'	13,2	14,8	13,6
		A_0''	18,6	19,3	23,1
		Σ	31,8	34,6	36,7
31 (68)	Ягодниковый	A_0'	18,7	18,3	16,1
		A_0''	25,3	22,8	20,1
		Σ	44,0	41,1	36,2
34 (68)	"	A_0'	7,9	8,4	6,1
		A_0''	31,5	30,8	30,2
		Σ	39,4	39,2	36,3
32 (68)	Разнотравный	A_0	28,6	29,1	29,7
35 (68)	"	A_0	25,2	26,4	27,2
		Предлесостепная подзона			
20 (68)	Брусничный	A_0'	13,3	14,0	14,3
		A_0''	36,1	34,5	33,0
		Σ	49,4	48,5	47,3
5 (68)	"	A_0'	12,8	12,7	13,1
		A_0''	29,7	28,1	29,1
		Σ	42,5	40,8	42,2
6 (68)	Ягодниковый	A_0'	6,3	6,8	7,4
		A_0''	28,2	27,5	27,5
		Σ	34,5	34,3	34,9
18 (68)	"	A_0'	12,5	12,8	13,5
		A_0''	32,2	30,8	31,1
		Σ	44,7	43,6	44,6
26 (68)	"	A_0'	7,4	6,8	8,1
		A_0''	38, 2	37, 4	36, 5
		Σ	45,6	44,2	44,6
3 (68)	Зеленомошно-ягодниковый	A_0'	8,2	9,3	8,7
		A_0''	15,8	13,2	12,9
		Σ	24,0	22,5	21,6
4 (68)	"	A_0'	3,8	4,3	4,1
		A_0''	21,2	20,2	19,0
		Σ	25,0	24,5	23,1
25 (68)	"	A_0'	8,6	9,3	10,1
		A_0''	17,7	17,8	15,2
		Σ	27,3	27,1	25,3

7	8	9	10	11	12	13	14	15
				Средняя тайга				
13,6	14,1	15,8	16,1	17,0	15,0	16,3	14,7	1,70
25,2	24,8	26,1	23,7	24,6	20,0	19,4	25,0	3,40
38,8	33,9	41,9	39,8	41,6	35,0	35,5	39,7	2,85
				Южная тайга				
16,1	17,1	12,1	17,6	15,8	10,0	11,0	14,0	2,27
40,4	36,2	42,2	40,1	39,6	41,1	40,2	38,7	4,68
56,5	53,3	54,3	57,7	55,4	51,1	51,2	52,7	4,80
15,9	13,4	18,2	14,8	19,3	19,7	17,3	16,2	2,01
20,1	22,4	22,6	23,5	21,7	20,5	25,12	21,7	1,98
36,0	35,8	40,8	38,3	41,0	40,2	41,5	37,9	2,88
16,8	10,1	10,1	10,8	12,3	19,0	14,2	14,6	2,05
18,3	20,8	22,1	19,8	15,3	20,0	20,0	20,4	4,22
35,1	30,9	32,2	30,6	27,6	39,0	34,2	35,1	2,45
9,1	10,2	11,6	10,7	10,7	8,5	11,5	9,5	1,52
22,2	28,7	24,8	20,1	28,9	27,1	26,7	27,1	3,54
31,3	38,9	36,4	30,8	39,6	35,6	38,2	36,6	3,51
30,2	30,8	31,8	35,2	36,2	38,1	40,2	32,9	3,40
31,7	33,2	33,2	33,9	34,0	25,4	26,5	29,6	3,26
				Предлесостепная подзона				
14,6	15,3	16,9	17,2	18,7	19,2	21,2	16,5	2,61
30,8	29,1	29,4	28,3	27,1	27,2	28,1	30,4	3,16
45,5	44,4	46,3	45,5	45,8	46,4	49,3	46,8	1,72
14,8	16,6	17,8	15,3	14,5	17,2	17,4	15,2	1,96
27,1	26,7	25,9	24,5	23,4	30,2	32,3	27,7	2,72
41,9	43,3	43,7	39,8	37,9	47,4	49,7	42,9	3,46
8,9	9,6	9,4	10,1	9,7	8,0	9,3	8,6	1,33
25,6	24,1	22,8	23,5	21,2	25,3	25,5	25,1	2,25
34,5	33,7	32,2	33,6	30,9	33,3	34,8	33,7	1,28
14,1	15,4	16,2	17,7	17,1	12,2	14,3	14,6	1,94
30,1	29,5	28,5	28,1	27,5	32,6	26,4	29,7	1,36
44,2	44,9	44,7	45,8	44,6	44,8	40,7	44,3	1,46
9,2	6,8	9,5	10,1	10,8	6,2	8,3	8,8	1,54
35,1	34,2	33,8	32,2	31,8	33,3	35,5	34,8	2,14
44,3	41,0	43,3	42,3	42,6	39,5	43,8	43,1	1,80
10,1	11,6	12,8	8,7	12,7	9,5	9,3	10,1	1,68
9,8	10,2	10,7	12,1	11,8	16,2	16,2	12,9	2,44
19,9	21,8	23,5	20,8	24,5	25,7	25,5	23,0	1,92
5,3	5,8	6,1	7,1	5,8	6,4	7,5	5,6	1,25
18,3	19,0	20,1	15,9	20,2	16,1	16,1	18,6	1,95
23,6	24,8	26,2	23,0	26,0	22,5	23,6	24,2	1,25
11,5	12,3	9,0	10,5	11,8	10,4	12,5	10,6	1,39
10,1	16,3	15,3	12,2	8,3	10,2	11,3	13,5	3,47
21,6	28,6	24,3	22,6	20,1	20,6	23,8	24,1	2,94

Таблица 66 (окончание)

1	2	3	4	5	6
		Предлесостепная подзона			
2 (68)	Разнотравный	A_0	16,8	15,2	17,2
7 (68)	"	A_0	19,5	21,2	20,7
8 (68)	"	A_0	18,9	19,8	20,7
23 (68)	"	A_0	15,2	16,3	16,8
17 (68)	"	A_0	17,1	16,9	17,1

ве сосняков зеленомошно-ягодниковых южных подзон, помимо зеленых мхов, брусники, черники, встречаются обильно мелкотравье, костяника, зимолюбка, кровохлебка. Эти растения, как известно [Абатуров, 1966], обладают большей зольностью, чем мхи и кустарнички, и их опад способствует более быстрой минерализации подстилки.

В сосняках брусничных запасы подстилки во всех подзонах одинаковы и составляют: в северной, южной тайге и предлесостепи соответственно 45,2; 45,3; 44,8 т/га. Близкие величины запасов подстилок в сосняках

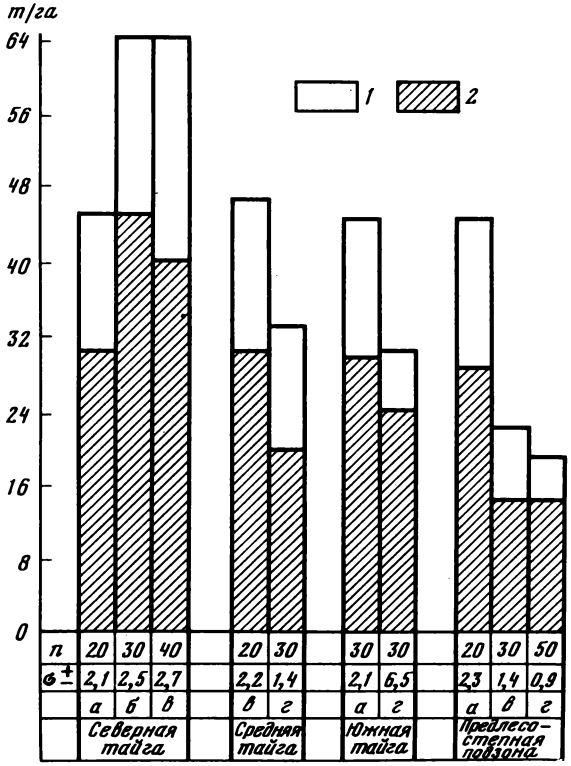


Рис. 8. Запасы подстилок в сосновых лесах Урала

Сосняки: *а* — брусничный, *б* — бруснично-багульниковый, *в* — зеленомошно-ягодниковый *г* — травяный. *1* — горизонт A_0', *2* — горизонт A_0''

7	8	9	10	11	12	13	14	15
				Предлесостепная подзона				
18,1	18,3	19,4	21,2	20,1	16,0	20,0	19,2	2,96
26,8	25,2	23,8	24,8	23,7	23,2	24,4	23,3	2,34
20,2	21,2	22,8	24,2	25,2	25,2	24,0	22,2	2,34
16,2	17,3	17,8	19,3	21,1	15,3	16,3	17,2	1,84
19,3	21,2	20,2	20,1	18,2	22,2	16,3	18,9	2,03

Таблица 67

Коэффициенты достоверности по Стьюденту запасов подстилок в разных типах сосняка (p – 0,99)

Северная тайга

Тип сосняка	зеленомошно-ягодниковый			брусничнo-багульниковый		
	A'_0	A''_0	$A''_0 + A'_0$	A'_0	A''_0	$A'_0 + A''_0$
Брусничный	12,9	10,8	27,4	7,0	13,5	22,7
Бруснично-багульниковый	7,0	6,8	0,3			

Средняя тайга

Тип сосняка	крупнотравный			зеленомошно-ягодниковый		
	A'_0	A''_0	$A'_0 + A''_0$	A'_0	A''_0	$A'_0 + A''_0$
Зеленомошно-ягодниковый	8,2	9,3	14,0	–	–	–

Южная тайга

Тип сосняка	разнотравный			ягодниковый		
	A'_0	A''_0	$A'_0 + A''_0$	A'_0	A''_0	$A'_0 + A''_0$
Брусничный	20,0	6,5	15,2	10,2	7,0	13,2
Ягодниковый	9,2	1,1	3,0			

Предлесостепь

Тип сосняка	зеленомошно-ягодниковый			разнотравный			ягодниковый		
	A'_0	A''_0	$A'_0 + A''_0$	A'_0	A''_0	$A'_0 + A''_0$	A'_0	A''_0	$A'_0 + A''_0$
Брусничный	13,5	20,6	32,3	29,0	26,1	40,0	9,8	0,5	9,0
Ягодниковый	4,5	25,7	43,6	21,1	39,7	51,0			
Разнотравный	16,0	0,3	8,1						

брусничных в разных подзонах объясняются, вероятно, тем, что разложение опада брусники как основной составляющей напочвенного покрова в этом типе леса происходит медленнее и постепеннее, чем разложение зеленых мхов и разнотравья. По данным Ю.Д. Абатурова [1966], время разложения половины запаса подстилки определяется для сосняка брусничного 12–14 лет, для разнотравно-орлякового – 4–5 лет.

Таким образом, запасы подстилок в сосновых лесах Урала значительно колеблются в зависимости от типа леса и по подзонам. В южнотаежной и предлесостепной подзонах наибольшие запасы подстилок присущи соснякам брусничным (45,3 и 44,8 т/га соответственно), наименьшие – разнотравным (31,2 и 20,0 т/га), разница между ними достоверна. Полученные данные показывают также (табл. 67), что наибольшие запасы подстилок создаются ее нижними слоями и масса этого слоя подстилки (A_0'') в большинстве случаев в 2 раза больше, чем верхнего (A_0').

Коэффициент изменчивости величины запасов A_0', как правило, больше, чем в A_0''. К югу наблюдается уменьшение запасов в A_0' при сохранении тех же значений величины отношений $A_0'' : A_0'$ в одноименных типах леса.

СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДСТИЛКАХ

В составе зольного вещества подстилок северной и средней тайги доминирует SiO_2, количество которого в A_0' составляет 50–58%, а в A_0'' – 55–71% (рис. 9; табл. 68), содержание полуторных окислов колеблется от 15 до 20% в A_0' и от 17 до 21% в A_0''; CaO + MgO (при преобладании кальция) – 11–14% в A_0' и 6–12% в A_0''. Незначительная доля в структуре зольного вещества приходится на P_2O_5 + K_2O: 4–5% – в A_0' и 8–11% – в A_0''.

Из приведенных данных видно, что в более разложившейся части подстилки (A_0'') по сравнению с неразложившейся (A_0') в составе зольного вещества возрастает количество SiO_2 и R_2O_3 и снижается содержание P_2O_5, K_2O, CaO и MgO.

В структуре зольного вещества подстилок разных типов леса можно отметить следующие отличия: наибольшие количества SiO_2 содержат подстилки брусничных и крупнотравных сосняков; R_2O_3 – подстилки зеленомошно-ягодниковых, K_2O – крупнотравных сосняков. По количеству CaO, MgO и P_2O_5 сравниваемые подстилки разнятся незначительно.

По содержанию SiO_2 подстилки северных подзон можно расположить в таком порядке: брусничные > крупнотравные > зеленомошно-ягодниковые; по содержанию R_2O_3: зеленомошно-ягодниковые > брусничные – бруснично-багульниковые > крупнотравные; по содержанию CaO + MgO: зеленомошно-ягодниковые = бруснично-багульниковые > брусничные > > крупнотравные; по содержанию P_2O_5 + K_2O: крупнотравные > зеленомошно-ягодниковые = брусничные > бруснично-багульниковые.

В южных подзонах (южная тайга и предлесостепная подзона) также бо́льшая часть в составе зольного вещества приходится на SiO_2 (в A_0' – 43–56% и в A_0'' – 42–62%); полуторные окислы составляют 11–26% в A_0' и 13–34% в A_0''; CaO + MgO – 8–15% в A_0' и 8–14% в A_0''; P_2O_5 + K_2O – 10–23% в A_0' и 6–12% в A_0'' (рис. 10). Таким образом, в подстилках южных подзон по сравнению с северными снижается количество SiO_2 в основном за счет увеличения полуторных окислов. Кроме того, приведенные цифры

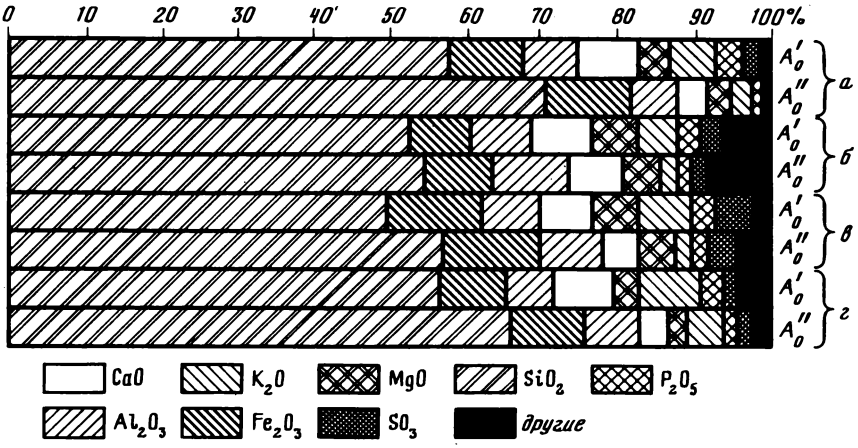


Рис. 9. Структура зольного вещества подстилок северной и средней тайги

Сосняки: *а* — брусничный, *б* — бруснично-багульниковый, *в* — зеленомошно-ягодниковый, *г* — крупнотравный

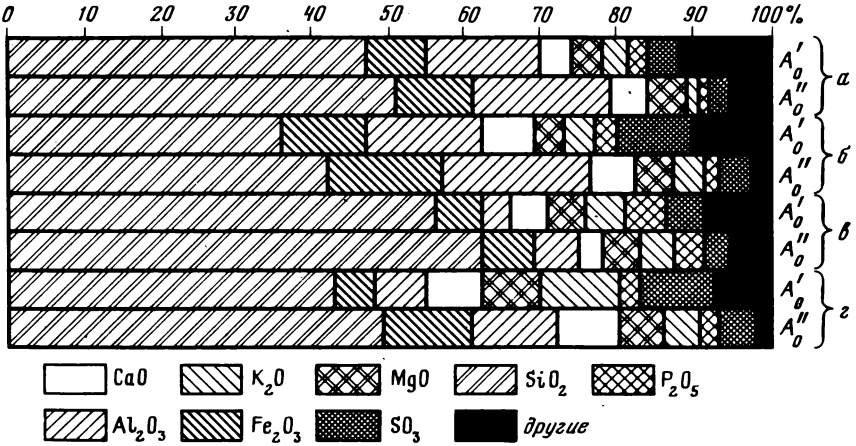


Рис. 10. Структура зольного вещества подстилок южной тайги и предлесостепной подзоны

Сосняки: *а* — брусничный, *б* — ягодниковый, *в* — зеленомошно-ягодниковый, *г* — разнотравный

показывают, что диапазон колебания содержания большинства элементов в подстилках южных подзон по сравнению с северными возрастает, так как на юге более контрастные экологические условия для их разложения.

Таким образом, на основе полученных данных установлена зависимость содержания зольных элементов в подстилках от степени их разложения, типа леса и подзональной его приуроченности.

По запасам зольных элементов в подстилках на первом месте стоит кремний, на втором — железо, кальций занимает обычно третье — четвертое место, на последнем, как правило, фосфор.

Таблица 68

Зольный состав подстилок сосновых лесов Урала

№ пробной площадки	Тип сосняка	Горизонт	Глубина, см	Потеря при прокаливании, %	Si
1	2	3	4	5	6
		Северная тайга			
15 (65)	Брусничный	A_0'	0–2	81,32	63,20* / 6,46
		A_0''	2–7	80,98	76,06 / 10,64
6 (66)	Бруснично-багульниковый	A_0'	0–9	79,21	51,65 / 5,05
		A_0''	9–15	83,66	64,42 / 4,87
11 (65)	”	A_0'	0–4	82,64	50,42 / 4,10
		A_0''	4–9	80,23	50,03 / 4,63
10 (65)	”	A_0'	0–3	81,32	56,16 / 4,77
		A_0''	3–6	80,98	53,10 / 4.73
12 (65)	Зеленомошно-ягодниковый	A_0'	0–4	74,52	48,56 / 5,30
		A_0''	4–9	76,44	52,34 / 5,77
14 (65)	”	A_0'	0–4	76,85	47,74 / 5,17
	”	A_0''	4–7	78,72	48,34 / 4,81
		Средняя тайга			
20 (65)	Брусничный	A_0'	0–3	80,06	51,76 / 4,83
		A_0''	3–7	76,16	65,78 / 7,34
14 (69)	Зеленомошно-ягодниковый	A_0'	0–4	61,01	44,04 / 8,05
		A_0''	4–8	56,82	61,32 / 12,39
15 (69)	”	A_0'	0–2	67,85	62,10 / 9,35
		A_0''	2–7	58,20	66,86 / 13,07

Al	Fe	Ca	Mg	P	K	S
7	8	9	10	11	12	13
			Северная тайга			
5,71 / 0,66	9,04 / 1,38	6,47 / 1,01	4,12 / 0,54	3,99 / 0,38	5,83 / 1,06	2,54 / 0,19
5,43 / 0,86	9,43 / 1,97	3,27 / 0,70	2,12 / 0,38	1,38 / 0,18	2,01 / 0,50	0,68 / 0,05
6,16 / 0,68	7,74 / 1,13	6,15 / 0,92	3,51 / 0,44	3,36 / 0,31	Не опр.	Не опр.
8,36 / 0,73	5,22 / 0,59	4,46 / 0,52	4,47 / 0,44	3,54 / 0,25	”	”
13,56 / 1,24	5,34 / 0,65	8,16 / 1,01	6,30 / 0,65	4,12 / 0,31	3,16 / 0,44	4,12 / 0,32
18,42 / 1,93	8,13 / 1,13	7,43 / 1,05	4,23 / 0,51	1,37 / 0,12	1,56 / 0,26	2,82 / 0,23
4,12 / 0,39	12,06 / 1,40	10,11 / 1,28	9,13 / 0,97	1,56 / 0,12	6,80 / 1,00	1,62 / 0,12
4,31 / 0,43	14,30 / 1,90	8,20 / 1,11	6,73 / 0,77	0,84 / 0,07	2,00 / 0,31	0,86 / 0,07
8,46 / 1,14	12,02 / 2,15	8,13 / 1,48	4,25 / 0,65	3,46 / 0,38	7,24 / 1,53	6,11 / 0,62
14,16 / 6,54	18,73 / 3,09	4,12 / 0,69	2,06 / 0,29	1,18 / 0,12	2,90 / 0,56	2,18 / 0,20
3,63 / 0,44	20,38 / 3,30	5,48 / 0,91	5,22 / 0,73	1,42 / 0,14	15,01 / 2,88	Не опр.
7,65 / 0,86	12,33 / 1,91	4,98 / 0,76	4,02 / 0,51	1,97 / 0,18	Не опр.	”
			Средняя тайга			
7,39 / 0,78	10,46 / 1,46	8,62 / 1,23	4,18 / 0,50	4,60 / 0,40	6,76 / 1,12	1,52 / 0,12
7,29 / 0,92	12,00 / 2,00	4,92 / 0,84	3,13 / 0,45	2,69 / 0,28	3,18 / 0,63	0,42 / 0,04
13,40 / 2,77	7,23 / 1,97	5,51 / 1,54	5,57 / 1,30	2,35 / 0,40	2,70 / 0,87	11,34 / 1,77
8,90 / 2,83	7,83 / 2,36	6,87 / 2,12	6,53 / 1,70	2,09 / 0,39	1,00 / 0,36	4,82 / 0,83
5,12 / 0,88	7,19 / 1,62	8,33 / 1,92	6,94 / 1,34	4,52 / 0,63	2,60 / 0,70	2,32 / 0,30
3,04 / 0,67	11,35 / 3,31	5,72 / 1,70	5,33 / 1,34	2,05 / 0,37	2,00 / 0,69	1,89 / 0,32

Таблица 68 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
		Северная тайга			
16 (69)	Крупнотравный	A_0'	0–2	57,04	62,11 / 12,48
		A_0''	2–6	24,02	70,23 / 24,89
19 (65)	”	A_0'	0–3	56,92	52,22 / 10,53
		A_0''	3–6	29,04	62,75 / 20,84
		Южная тайга			
30 (68)	Брусничный	A_0'	0–2	61–08	47,96 / 8,77
		A_0''	2–4	58,34	50,44 / 9,87
33 (68)	”	A_0'	0–3	62,03	48,54 / 8,62
		A_0''	3–6	58,61	52,48 / 10,14
31 (68)	Ягодниковый	A_0'	0–1	59,32	29,82 / 5,69
		A_0''	1–3	56,11	38,56 / 7,95
34 (68)	”	A_0'	0–1,5	60,38	39,86 / 7,40
		A_0''	1,5–3	57,24	43,34 / 8,66
32 (68)	Разнотравный	A_0'	0–2	49,34	52,84 / 12,60
35 (68)	”				
		A_0''	0–1	59,42	46,54 / 8,85
		A_0''	1–2	55,17	50,11 / 10,56
		Предлесостепная подзона			
5 (68)	Брусничный	A_0'		62,00	44,42 / 7,90
		A_0''		58,80	49,16 / 9,69
18 (68)	Ягодниковый	A_0'		57,40	38,26 / 7,63
		A_0''		51,50	40,96 / 9,30
6 (68)	”	A_0'		59,40	35,83 / 6,68
		A_0''		54,10	43,74 / 9,40

7	8	9	10	11	12	13
			Северная тайга			
5,18 / 1,17	7,32 / 2,20	8,03 / 2,50	3,59 / 0,92	3,40 / 0,64	7,00 / 2,49	2,14 / 0,37
5,23 / 2,10	8,68 / 4,60	3,86 / 2,09	2,84 / 1,29	2,46 / 0,81	4,82 / 3,02	1,19 / 0,36
6,49 / 1,48	10,02 / 3,02	8,05 / 2,48	3,20 / 0,84	3,08 / 0,58	9,67 / 3,46	1,62 / 0,28
8,41 / 3,16	10,46 / 5,18	3,74 / 1,90	2,17 / 0,93	2,00 / 0,63	5,12 / 3,02	0,91 / 0,26
			Южная тайга			
14,56 / 2,99	9,84 / 2,68	3,98 / 1,11	3,07 / 0,71	3,11 / 0,53	3,16 / 1,02	4,25 / 0,66
16,18 / 3,57	11,38 / 3,31	4,12 / 1,23	4,46 / 1,12	2,08 / 0,37	2,54 / 0,88	1,86 / 0,31
16,26 / 3,25	7,14 / 1,89	4,56 / 1,23	3,68 / 0,84	2,15 / 0,36	1,84 / 0,58	2,86 / 0,44
20,34 / 4,45	9,86 / 2,84	5,19 / 1,53	4,06 / 1,01	1,08 / 0,20	1,12 / 0,38	1,34 / 0,22
20,56 / 4,43	10,11 / 2,87	7,13 / 2,07	4,28 / 1,04	3,26 / 0,57	2,84 / 0,95	10,16 / 1,65
23,18 / 5,39	14,64 / 4,50	7,15 / 2,24	6,84 / 1,80	2,06 / 0,39	1,19 / 0,43	3,54 / 0,62
9,43 / 1,98	11,82 / 3,28	5,16 / 1,46	3,56 / 0,84	3,26 / 0,56	8,13 / 2,67	5,83 / 0,92
11,26 / 2,55	15,38 / 4,59	7,16 / 2,18	5,12 / 1,31	2,34 / 0,44	4,12 / 1,46	4,24 / 0,72
8,16 / 2,19	6,18 / 2,19	9,34 / 3,39	4,56 / 1,38	3,69 / 0,81	4,98 / 2,10	3,25 / 0,66
8,11 / 1,74	6,82 / 1,93	8,13 / 2,35	3,54 / 0,86	3,84 / 0,68	10,11 / 3,41	4,25 / 0,69
10,24 / 2,43	12,54 / 3,94	10,15 / 3,25	4,26 / 1,15	1,38 / 0,27	5,14 / 1,91	3,16 / 0,57
			Предлесостепная подзона			
13,92 / 2,80	7,55 / 2,01	4,78 / 1,30	3,92 / 0,90	3,00 / 0,50	2,34 / 0,80	9,34 / 1,42
17,50 / 3,90	9,12 / 2,69	4,81 / 1,60	4,72 / 1,20	1,09 / 0,22	1,71 / 0,59	5,46 / 0,90
12,46 / 2,81	10,39 / 3,10	5,86 / 1,79	2,32 / 0,60	3,21 / 0,61	4,46 / 1,80	14,72 / 2,51
15,75 / 4,04	14,32 / 5,03	7,46 / 2,59	4,41 / 1,29	2,09 / 0,50	3,97 / 0,80	7,56 / 1,47
16,77 / 3,60	12,71 / 3,61	7,95 / 2,31	4,97 / 1,22	3,94 / 0,70	2,36 / 2,10	10,31 / 1,67
23,87 / 5,80	14,96 / 4,80	2,59 / 3,00	4,98 / 1,38	2,89 / 0,60	5,51 / 1,20	1,06 / 0,19

Таблица 68 (окончание)

1	2	3	4	5	6
		Предлесостепная подзона			
3 (68)	Зеленомошно-ягодниковый	A_0'		58,39	60,18 / 11,78
		A_0''		56,54	64,86 / 13,25
4 (68)	"	A_0'		60,52	52,84 / 9,81
		A_0''		59,62	60,84 / 11,57
25 (68)	"	A_0'		57,70	53,53 / 10,69
		A_0''		55,50	59,61 / 12,42
2 (68)	Разнотравный	A_0		45,84	59,71 / 15,16
8 (68)	"	A_0'		51,80	41,26 / 9,31
		A_0''		49,20	47,18 / 11,22
7 (68)	"	A_0'		54,60	40,00 / 8,50
		A_0''		49,81	48,08 / 11,30

* В числителе — % в окислах на чистую золу, в знаменателе — % в элементах на абс. сухую навеску.

Наибольшими запасами суммы зольных элементов (рис. 11) отличаются сосняки крупнотравные северной тайги (9,8 т/га) и ягодниковые в предлесостепной подзоне (9,4 т/га). Наименьшее количество зольных элементов накапливают подстилки сосняков разнотравных и зеленомошно-ягодниковых предлесостепи (4,9–4,6 т/га) и бруснично-багульниковые северной тайги (4,9 т/га). В распределении запасов суммы зольных элементов в подстилках не выявлено закономерных изменений по подзонам и типам леса.

По накоплению запасов отдельных зольных элементов в подстилках наблюдается более четко выраженная зависимость от типа леса. Подстилки сосняков брусничных северных и южных подзон отличаются от других типов леса наибольшими запасами кремния (около 4,0 т/га), что согласуется с его абсолютным содержанием в подстилке. Подстилки сосняков зеленомошно-ягодниковых северных подзон выделяются наибольшим накоплением железа (1,2–1,6 т/га), в южных же подзонах, наоборот, они отличаются минимальными его запасами, что обусловлено не столько изменением абсолютного содержания элементов, сколько резким уменьшением запасов подстилок к югу. Подстилки сосняков травяных по сравнению

7	8	9	10	11	12	13
			Предлесостепная подзона			
3,54 / 0,78	6,18 / 1,79	5,12 / 1,52	5,18 / 1,29	5,04 / 0,91	6,40 / 2,22	1,80 / 0,30
4,52 / 1,04	7,34 / 2,23	3,26 / 1,01	4,82 / 1,25	3,96 / 0,75	3,53 / 1,28	1,79 / 0,31
4,84 / 1,01	5,26 / 1,45	4,15 / 1,17	5,84 / 1,38	6,32 / 1,09	4,18 / 1,36	4,52 / 0,72
5,28 / 1,13	6,54 / 1,85	2,04 / 0,58	6,38 / 1,55	4,53 / 0,80	2,16 / 0,60	2,56 / 0,41
5,86 / 1,20	6,05 / 1,79	6,05 / 1,83	3,45 / 0,90	4,32 / 0,81	3,30 / 2,30	8,65 / 1,46
7,75 / 1,83	7,03 / 2,19	4,74 / 1,51	3,75 / 1,01	4,11 / 0,80	6,22 / 0,92	3,73 / 0,66
4,08 / 1,16	6,52 / 2,46	4,06 / 1,56	4,63 / 1,50	4,98 / 1,17	6,42 / 2,88	5,20 / 1,11
6,26 / 1,60	2,94 / 2,03	8,13 / 2,80	10,16 / 2,59	2,38 / 0,50	10,25 / 4,10	12,01 / 2,31
12,55 / 3,38	11,79 / 4,19	9,35 / 3,40	9,19 / 2,82	1,86 / 0,41	3,79 / 1,60	3,14 / 0,64
7,11 / 1,71	5,35 / 1,70	4,40 / 1,43	9,49 / 2,60	4,03 / 0,80	9,53 / 3,00	13,11 / 2,38
10,45 / 2,78	11,97 / 4,20	4,96 / 1,78	5,67 / 1,72	2,88 / 0,50	4,86 / 2,03	6,43 / 1,29

с другими накапливают значительные количества калия (1,0 т/га в средней тайге, 0,9 – в южной и 0,4 т/га – в предлесостепной).

Как уже отмечалось, запасы более разложившегося слоя подстилок (A_0'') выше, чем в менее разложенном (A_0'); первым соответствуют более высокие запасы большинства химических элементов. Наиболее энергично в A_0'' происходит накопление кремния, железа и алюминия; в отдельных случаях отношение A_0'': A_0' по запасам этих элементов достигает 5,9–7,8. Запасы калия и фосфора в A_0'' относительно A_0' различаются значительно меньше, что обусловлено быстрым потреблением этих элементов растительностью, а также большой подвижностью, миграцией их в нижележащие горизонты.

Итак, запасы зольных элементов в подстилках определяются прежде всего их массой и условиями разложения. В случае превалирования того или иного элемента в составе золы (например, в брусничных подстилках – кремния, в зеленомошно-ягодниковых – железа и в травяных – калия) запасы их в подстилках определяются абсолютным содержанием этого элемента, т.е. не перекрываются массой подстилки.

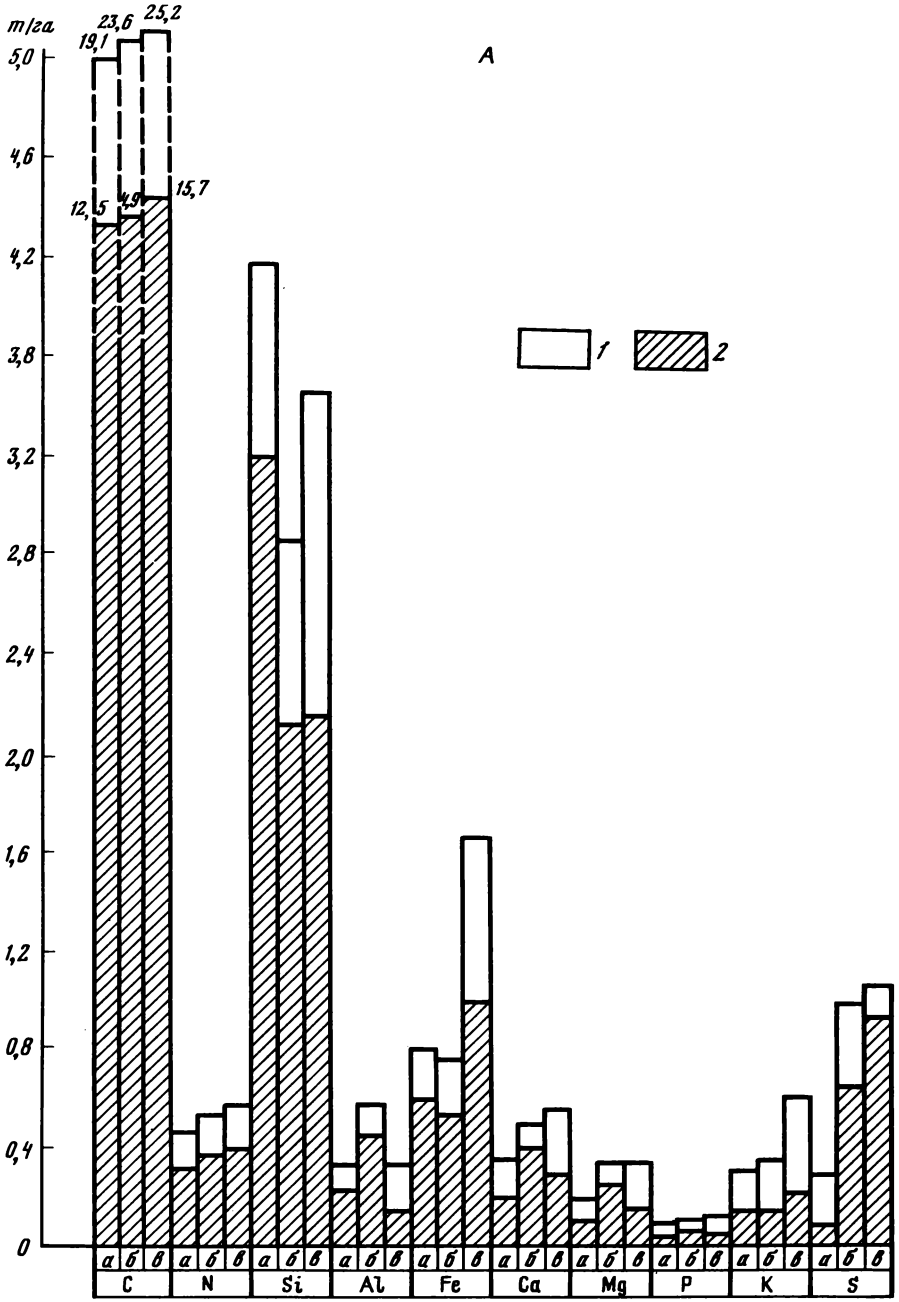


Рис. 11. Запасы химических элементов в подстилках сосновых лесов Урала

А – северная тайга, *Б* – средняя тайга, *В* – южная тайга, *Г* – предлесостепная зона. Сосняки: *а* – брусничный, *б* – бруснично-багульниковый, *в* – зеленомошно-ягодниковый, *г* – крупнотравный (*Б*) и разнотравный (*В, Г*). *1* – горизонт A_0', *2* – горизонт A_0''

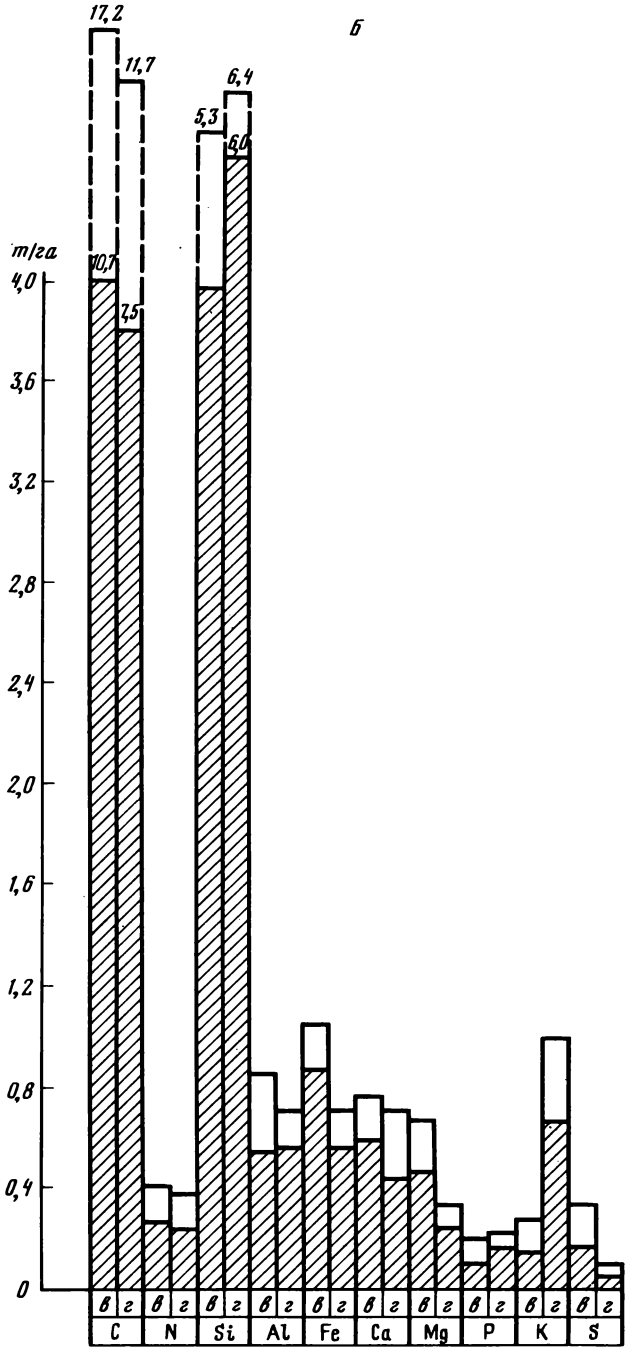


Рис. 11 (продолжение)

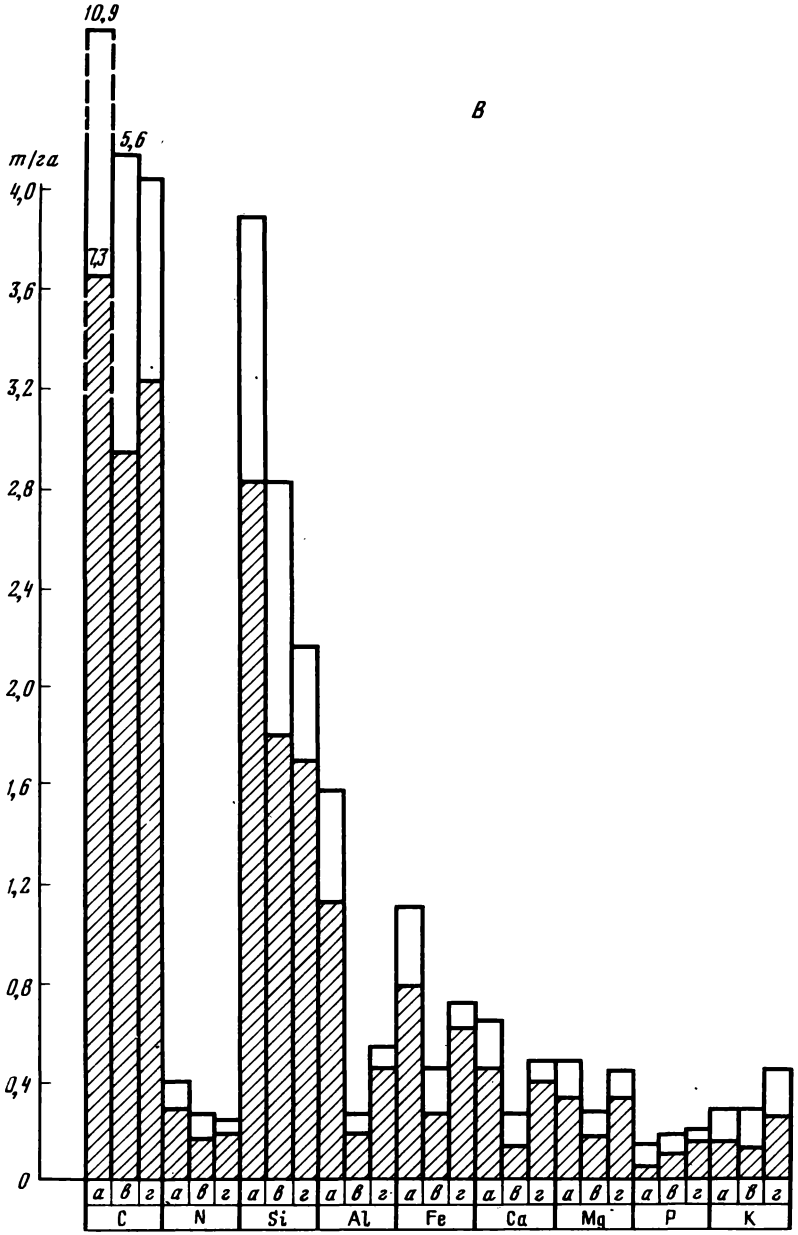


Рис. 11 (продолжение)

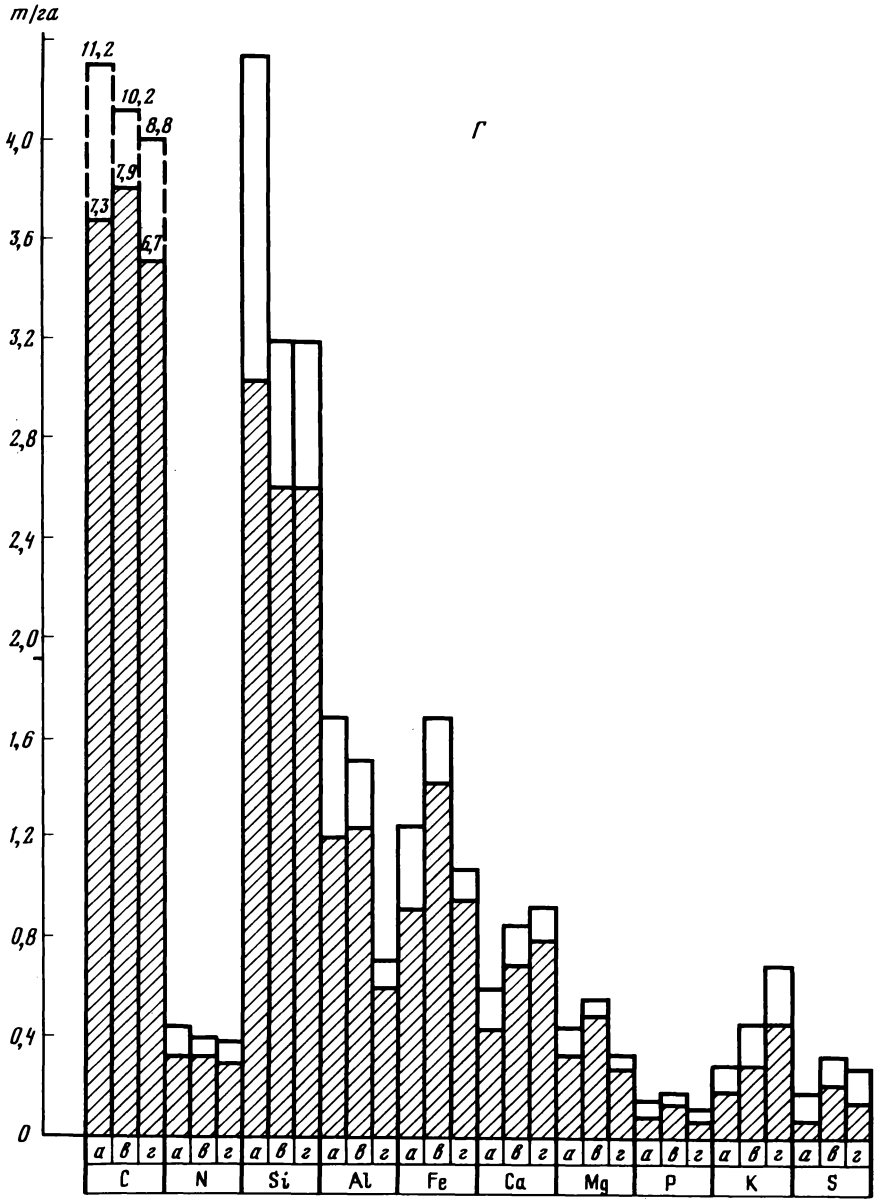


Рис. 11 (окончание)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК

Определение потери при прокаливании подстилок в разных подгоризонтах по типам леса и по подзонам показало (табл. 69), что наибольшей величины (84%) она достигает в подстилках северной и средней тайги, тогда как в южной и предлесостепной подзонах не превышает 62%. Кроме того, на севере таежной зоны практически нет разницы в величине потери при прокаливании между горизонтами A_0' и A_0'', т.е. оба слоя подстилки слабо затронуты разложением и только в сосняках крупнотравных и, реже, зеленомошно-ягодниковых средней тайги эта разница возрастает. Исходя из приведенных данных, можно также отметить, что величина потери от прокаливания в подстилке сосняка брусничного, особенно в северной тайге, выше, чем в других типах леса. Изменение величины потери при прокаливания как одного из косвенных показателей степени разложения органического вещества свидетельствует о разнообразии условий накопления и разложения растительных остатков, что должно определять различия состава формирующихся здесь органических кислот. Содержание углерода в подстилках сосновых лесов, подобно величине потери от прокаливания, уменьшается в направлении с севера на юг. Так, его содержание в верхнем слое (A_0') подстилки северотаежных лесов колеблется от 52 до 36%, в среднетаежных —от 44 до 38, в южнотаежных и предлесостепных — от 33 до 20%. В нижних подгоризонтах подстилки (A_0'') содержание углерода падает, как правило, незначительно в северной и средней тайге и более ощутимо на юге таежной зоны.

Таблица 69

Состав органического вещества подстилок сосновых лесов Урала

№ пробной площадки	Тип сосняка	Горизонт	Потеря при прокаливании, %
1	2	3	4
	Северная тайга		
15 (65)	Брусничный	A_0'	81
		A_0''	81
10 (65)	Бруснично-багульниковый	A_0'	81
		A_0''	81
6 (66)	"	A_0'	79
		A_0''	84
11 (65)	"	A_0'	83
		A_0''	80
12 (65)	Зеленомошно-ягодниковый	A_0'	75
		A_0''	76
14 (65)	"	A_0'	73
		A_0''	79
17 (66)	"	A_0'	Не опр.
		A_0''	"

Проведенные подсчеты запасов углерода по средним данным во всех подзонах в сравниваемых типах леса еще более наглядно иллюстрируют эту закономерность (табл. 70). Например, запасы углерода в подстилке сосняков зеленомошно-ягодниковых северной тайги составляют 25,3 т/га, в одноименном типе леса в средней тайге – 17,3 и в предлесостепной – 5,7 т/га, т.е. запасы углерода в подстилках одноименных типов леса уменьшаются с севера на юг в пределах таежной зоны Урала более чем в 4 раза. В сосняках брусничных разных подзон (очевидно, вследствие малой скорости разложения жестколистного опада кустарничков) разница в запасе углерода между северными и южными типами леса менее значительна.

По содержанию азота (табл. 70) сравниваемые подстилки отличаются слабо, в разных подзонах его количество составляет около 1%. В меньших пределах (от 0,59 до 0,26, т.е. в 2 раза) колеблются запасы азота, чем углерода, в направлении с севера на юг в том же типе леса (сосняк зеленомошно-ягодниковый). Известно, что насыщенность органического вещества азотом характеризует степень его разложения и чем отношение C : N уже, тем сильнее идет разложение. Это отношение составляет в северной тайге в A_0' 50–41 и в A_0'' 46–33, в средней тайге соответственно 49–33 и 40–21 (см. табл. 69). В южной тайге и предлесостепной подзоне величина C : N довольно резко уменьшается и составляет в верхнем слое подстилки (A_0') 36–24, в нижнем (A_0'') – 29–17.

В северных подзонах (северная и средняя тайга) подстилки сосняков брусничных, бруснично-багульниковых и зеленомошно-ягодниковых характеризуются довольно близкими величинами отношений C : N (в A_0' – 41,7–56,1, в A_0'' – 33,3–40,7). В процессе разложения подстилки наблю-

C	N	C/N	$C_{гк}$	$C_{фк}$	$C_{гк}/C_{фк}$
% на абс. сухую навеску			% к общему углероду		
5	6	7	8	9	10
			Северная тайга		
44,0	0,9	45,8	17,8	32,4	0,54
41,6	1,1	37,8	18,5	28,1	0,65
52,8	1,1	48,8	20,7	34,5	0,60
20,0	0,6	33,3	27,6	33,6	0,82
41,0	0,7	56,1	17,3	31,2	0,55
39,6	0,8	46,0	17,8	30,0	0,59
40,1	0,9	41,7	18,1	30,8	0,59
39,8	1,0	39,7	16,7	23,8	0,70
36,7	0,9	41,7	12,2	25,9	0,47
39,9	1,0	39,9	21,2	27,9	0,76
39,0	0,8	46,4	16,6	27,5	0,60
35,2	0,9	38,3	18,4	25,8	0,71
43,9	0,9	45,8	15,3	29,4	0,52
41,6	1,1	37,8	18,8	23,2	0,81

Таблица 69 (окончание)

1	2	3	4
	Средняя тайга		
20 (65)	Брусничный	A_0'	80
		A_0''	76
14 (69)	Зеленомошно-ягодниковый	A_0'	61
		A_0''	57
15 (69)	”	A_0'	68
		A_0''	58
19 (65)	Крупнотравный	A_0'	Не опр.
		A_0''	”
18 (65)	”	A_0'	”
		A_0''	”
16 (69)	”	A_0'	57
		A_0''	24
	Южная тайга		
33 (68)	Брусничный	A_0'	62
		A_0''	59
30 (68)	”	A_0'	61
		A_0''	58
31 (68)	Ягодниковый	A_0'	59
		A_0''	56
35 (68)	Разнотравный	A_0'	58
32 (68)	”	A_0''	50
	Предлесостепная подзона		
5 (68)	Брусничный	A_0'	62
		A_0''	59
18 (68)	Ягодниковый	A_0'	57
		A_0''	52
6 (68)	”	A_0'	59
		A_0''	54
4 (68)	Зеленомошно-ягодниковый	A_0'	61
		A_0''	60
3 (68)	”	A_0'	58
		A_0''	57
25 (68)	”	A_0'	58
		A_0''	56
2 (68)	Разнотравный	A_0	46

5	6	7	8	9	10
		Северная тайга			
44,1	0,9	45,8	18,4	30,2	0,61
40,0	0,9	40,8	19,6	24,1	0,81
44,5	1,0	44,1	13,1	27,3	0,46
32,2	0,8	39,8	23,3	27,2	0,82
39,2	0,8	49,0	10,9	16,7	0,66
36,3	0,9	40,8	15,8	22,1	0,71
41,2	0,9	42,0	17,5	33,0	0,53
36,4	0,9	37,1	17,9	20,9	0,85
38,9	1,1	33,5	19,4	36,8	0,52
33,8	1,1	28,6	21,7	19,5	1,11
39,6	1,1	37,0	18,6	34,6	0,54
22,4	1,1	20,7	20,4	20,8	0,99
		Южная тайга			
22,1	0,9	24,0	24,7	23,4	1,05
27,9	1,0	26,3	25,2	24,1	1,04
30,1	0,9	34,6	18,3	21,2	0,86
28,9	1,0	28,9	20,2	22,2	0,91
26,3	0,7	34,5	19,9	20,3	0,98
25,3	0,9	27,0	22,4	28,0	0,80
33,0	1,2	28,2	29,3	25,0	1,17
27,0	1,1	23,7	24,3	26,5	0,92
		Предлесостепная подзона			
23,0	0,8	28,7	22,7	24,4	0,93
25,3	0,9	26,3	24,8	26,9	0,92
22,2	0,8	26,5	18,9	22,7	0,83
24,1	1,0	24,1	23,7	26,4	0,90
32,1	0,9	35,7	24,9	29,6	0,84
27,8	0,9	29,0	25,8	29,3	0,88
29,9	0,8	36,5	22,2	22,0	1,01
20,0	1,0	18,9	22,8	20,8	1,00
30,5	1,1	26,8	21,3	19,8	1,08
20,2	1,1	17,6	23,3	20,9	1,11
33,8	1,1	30,2	19,9	19,5	1,02
19,6	1,1	17,8	24,3	24,1	1,00
20,9	1,1	17,8	24,8	24,8	1,00

Таблица 70

Запасы углерода и азота в подстилках Урала, т/га

Подзона тайги	Тип сосняка	C	N	$\frac{C}{N}$
Северная	Брусничный	19,2	0,48	40
	Бруснично-багульниковый	20,9	0,48	43
	Зеленомошно-ягодниковый	25,3	0,59	43
Средняя	"	17,3	0,41	42
	Крупнотравный	11,8	0,38	31
Южная	Брусничный	11,3	0,44	26
	Ягодниковый	10,2	0,40	26
	Разнотравный	8,8	0,37	24
Предлесостепная	Брусничный	11,0	0,40	27
	Ягодниковый	10,6	0,38	28
	Зеленомошно-ягодниковый	5,7	0,26	22
	Разнотравный	4,2	0,23	18

дается снижение величины этого отношения. Крупнотравные подстилки средней тайги отличаются от вышеописанных более узким отношением C:N в обоих горизонтах (A_0' – 33–42, в A_0'' – 20–37). Степень разложения верхней части подстилок в разных типах сосняков южной тайги и предлесостепи выражается близкими величинами C:N, которые изменяются от 24,0 до 36,5. Нижняя часть подстилок более различается по степени разложенности в разных типах леса, более глубокое разложение наблюдается в зеленомошно-ягодниковых сосняках (C : N = 18,1), а более слабое – в ягодниковом (C : N = 26,7) и брусничном (C : N = 27,2). В подстилке сосняка разнотравного величина C : N уменьшается до 23,2, а в предлесостепной подзоне – до 17,8.

Определение средней величины отношений запасов углерода к запасам азота в подстилках разных типов леса по подзонам таежных лесов Урала [Фирсова, Павлова, 1979; 1980] позволило выявить более четкие различия между ними и установить количественные изменения этих показателей с севера на юг. На основе полученных данных (табл. 70) можно высказать предположение, что степень разложения органического вещества возрастает в пределах таежной зоны Урала приблизительно в 2 раза.

Изучение состава органического вещества подстилок [Павлова, Дергачева, 1977] позволяет выявить некоторые основные особенности процесса формирования гумусовых веществ. Данные, приведенные в табл. 69, показывают, что в органическом веществе подстилок лесов северной и средней тайги фульвокислоты превалируют над гуминовыми ($C_{гк}$: $C_{фк}$ в A_0' составляет в среднем 0,5). В южной тайге и в предлесостепной подзоне количество гуминовых кислот в составе органического вещества лесных подстилок значительно возрастает ($C_{гк}$: $C_{фк}$ близко к 1). Следует заметить, что в условиях южной тайги разница в составе органического ве-

щества между верхним и нижним слоем подстилки сглаживается, тогда как в северной и средней тайге его состав контрастно отличается по слоям. В последнем случае отчетливо выражена тенденция увеличения гуминовых кислот в A_0'' относительно A_0', т.е. по мере увеличения степени разложения подстилки.

Изменение климатических условий с севера на юг, увеличение в этом направлении роли травянистых растений в составе напочвенного покрова и связанное с ними усиление микробиологической активности и степени разложения подстилок влияют не только на количество органического вещества, накапливающегося на поверхности почв под пологом сосновых лесов, но и на его качественный состав.

Таким образом, под сосновыми лесами накопление подстилки зависит от типа леса и подзональной приуроченности. В одноименных типах леса с севера на юг уменьшаются запасы подстилок и вместе с ними запасы углерода и азота, увеличивается степень разложения подстилок. Изменяется и состав их органического вещества: по мере движения к югу количество гуминовых кислот возрастает. На севере таежной зоны формируются, по классификации С.В. Зонна [1964], фульватно-гуматные, а на юге – гуматные подстилки. В топоряду экологически связанных между собой типов леса (сосняк брусничный – сосняк зеленомошно-ягодниковый – сосняк травяной) наблюдаются снижение запасов подстилки, азота и углерода и увеличение степени разложения подстилки.

Глава VII

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА ВЕЩЕСТВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ

Для понимания особенности биологического круговорота веществ в биоценозах разных частей таежной зоны и выяснения зависимости производительности лесов от почвенных условий представляет интерес сравнение основных показателей почвенного плодородия с севера на юг. Выяснение закономерностей изменения свойств почв с севера на юг в пределах одной зоны является сложной задачей, поскольку здесь часто приходится иметь дело не столько с качественными, сколько с количественными различиями. Кроме того, многие закономерности в горных условиях нарушаются в связи с контрастностью физико-химических свойств горных почвообразующих пород, что ограничивает возможность получения достаточного количества сопоставимого материала и применение математических методов обработки его. Обобщив имеющиеся данные о свойствах почв сосновых лесов Урала и под другими растительными формациями, представленными на изученной территории, сопоставим почвы северной и южной тайги по провинциям (горная и холмисто-предгорная восточного макросклона).

Поскольку плодородие почв в значительной степени определяется их гумусовым состоянием, проводилось сравнительное изучение гумусового профиля и состава органических веществ. Сравнение пределов колебания

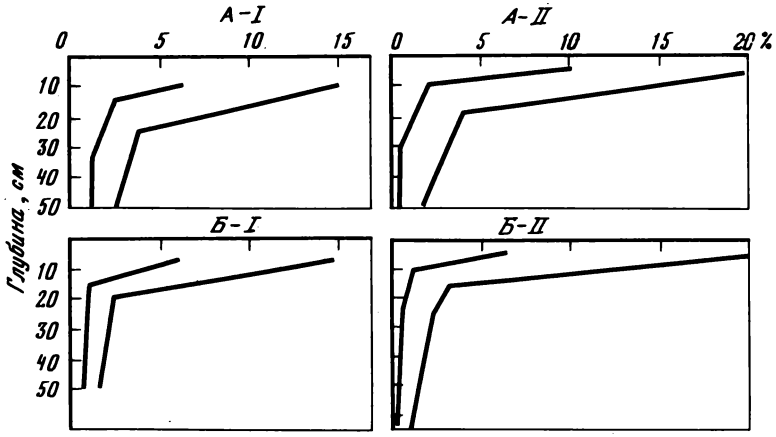


Рис. 12. Пределы колебаний содержания гумуса в почвах северной (*А*) и южной (*Б*) тайги Урала

I – горная провинция, *II* – холмисто-предгорная провинция

содержания и распределения гумуса по профилю (в 10 разрезах в каждой провинции и подзоне независимо от растительной формации) показывает, что количество его в верхних горизонтах подвержено значительным изменениям. Например, до глубины 10 см содержание гумуса в почвах северной тайги горной провинции колеблется от 6 до 14% (рис. 12), а в холмисто-предгорной этой же подзоны – от 10 до 20%. В южной тайге соответственно содержание гумуса составляет 6–15 и 6–20%.

Таким образом, в почвах холмистых предгорий обеих подзон содержится большее количество гумуса, чем в горной провинции. На глубине 10 см в обеих сравниваемых подзонах больше гумуса (до 13%) содержится также в почвах холмисто-предгорной провинции, чем в горной. На глубине 30 см наблюдается уже иная закономерность: большее количество гумуса на этой глубине в горной провинции северной тайги и меньшее к югу и востоку. В нижележащих горизонтах эта закономерность проявляется еще более четко.

Все это дает основание предполагать, что в почвах северной тайги гумус более мобилен, чем в южной. Для доказательства выдвинутого положения и выяснения причин, обусловливающих это явление, сравним имеющиеся в нашем распоряжении данные для различных провинций таежной зоны Урала. В обеих провинциях северной и южной тайги было взято для сравнения от 10 до 20 разрезов. В каждом из них количество гумуса в горизонте, залегающем непосредственно под подстилкой, принималось за 100% и вычислялось процентное его содержание на глубине 50 см. Учитывая, что под пологом лесов основная масса органического вещества поступает в почву с поверхности, такие подсчеты допустимы. Полученные данные обрабатывались статистически.

Проведенные расчеты показали (табл. 71), что в почвах горной провинции наибольшее количество гумуса содержится на глубине 50 см и уменьшается с запада на восток (от горной к холмисто-предгорной провинции).

Таблица 71

Изменение подвижности гумуса в почвах Урала, % на глубине 50 см относительно верхнего горизонта

Подзона	Провинция	
	горная	холмисто-предгорная
Северная тайга	32,6 ± 7,7	18,8 ± 6,4
Южная тайга	13,9 ± 2,6	4,5 ± 1,3

Эта закономерность сохраняется как в почвах северной, так и южной тайги. Различия в подвижности гумуса статистически достоверны. Меняется подвижность гумуса и с севера на юг в пределах одной и той же провинции (уменьшается в этом направлении), и различия также статистически достоверны.

Причины, определяющие процессы миграции органических веществ, по-видимому, нужно искать в особенностях лесной растительности, в условиях разложения опада и составе образующегося органического вещества. Естественно, что климатические условия и характер растительных остатков, поступающих на поверхность почвы в северной тайге, не благоприятствуют быстрому их разложению и глубокому преобразованию. Следует ожидать, однако, что скорость разложения в горах будет больше, чем на холмистых предгорьях, вследствие лучшей дренированности местности, обусловленной хрящеватостью почв и большими амплитудами высот и уклонов местности.

Более высокое количество выпадающих в горах осадков при хорошей водопроницаемости хрящеватых почв способствует более значительному проникновению гумуса в глубь почвенного профиля. Однако в этих почвах иллювиального накопления гумуса не обнаружено, т.е. гумусовый профиль здесь не иллювиально-гумусовый, а потечно-гумусовый. Кстати заметим, что почвообразование на Северном Урале идет преимущественно на богатых основаниями горных породах, что, казалось бы, должно способствовать закреплению гумуса на некоторой глубине почвенного профиля. Следовательно, причина здесь не в богатстве пород, а в составе органического вещества, условиях его формирования.

Комплекс природных условий южной тайги, несомненно, более благоприятен для разложения органических остатков, и здесь, как показывает статистическая обработка данных, закрепление гумуса в верхних горизонтах происходит значительно лучше, чем в северной тайге. Кроме того, в южной тайге наряду с хвойными в составе древесного полога значительное участие принимают лиственные породы и в травяно-кустарничковом ярусе этих лесов большое распространение имеет разнотравье, что способствует более широкому вовлечению кальция в биологический круговорот, а следовательно, и более прочному закреплению гумуса в верхних горизонтах.

Миграция органического вещества по профилю почвы определяется его составом. Для почв таежной зоны Урала характерен гуматно-фульват-

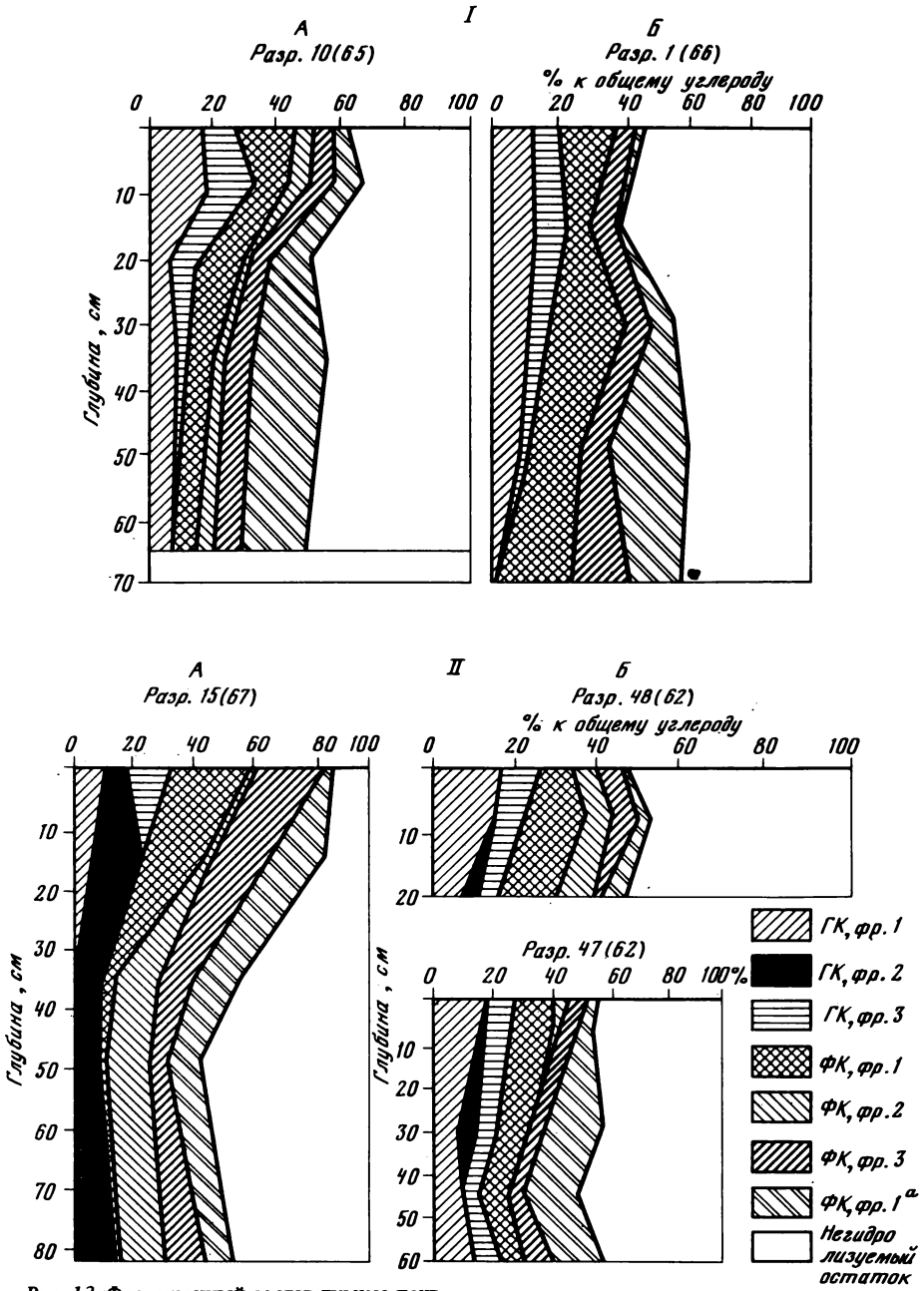
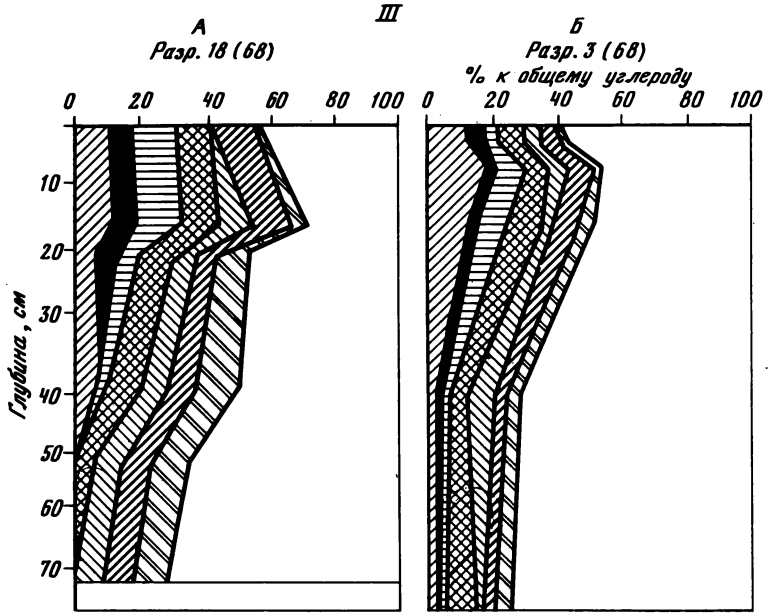


Рис. 13. Фракционный состав гумуса почв

I – северная тайга, *II* – южная тайга, *III* – предлесостепная подзона сосново-березовых лесов. *А* – горная провинция, *Б* – холмисто-предгорная провинция



ный тип гумуса. Сравнение имеющихся в нашем распоряжении данных о его качественном составе в почвах разных подзон показывает, что отношение $C_{гк}$: $C_{фк}$ в верхних горизонтах всех рассматриваемых почв колеблется от 0,6 до 1 [Фирсова, Дергачева, 1970; 1972; Фирсова, 1977; Фирсова и др., 1978]. При этом закономерных изменений величины этого отношения с севера на юг и с запада на восток в пределах рассматриваемой территории не обнаружено.

Групповой состав, хотя и показывает специфику гумуса почв, однако не раскрывает всех особенностей гумусовых веществ, их состояние и характер взаимосвязи с минеральной частью почвы и друг с другом. Выбрав наиболее типичные для различных подзон и провинций почвы, рассмотрим некоторые общие особенности и специфические черты связи гумусовых кислот с минеральной частью почвы.

Для всех рассматриваемых почв (рис. 13) характерны высокое содержание негидролизуемого остатка, отсутствие или незначительное количество гуматов кальция и преобладание среди гуминовых бурых, наиболее подвижных кислот. Среди фульвокислот преобладают фракции, связанные с подвижными формами полутораокисей, при относительно невысоком содержании "агрессивных" фульвокислот, увеличивающемся с глубиной. Таким образом, полученные данные показывают, что горные почвы Урала близки по составу гумуса и закономерностям его распределения по профилю к бурым лесным почвам других горных систем. Аналогичное мнение о гумусе кислых неоподзоленных почв Урала высказано Р.П. Михайловой [1970]. В почвах северной тайги, как в горной провинции, так и в холмистых предгорьях, фракция гуминовых кислот, связанная с кальцием, от-

сутствует (см. рис. 13). Доминируют, особенно в верхних горизонтах, гуминовые и фульвокислоты, непрочносвязанные с полуторными окислами (фракция I). В нижних горизонтах возрастает доля участия наиболее подвижной фракции Iа фульвокислот. В гумусе почв южной тайги обязательным компонентом становятся гуминовые кислоты, связанные с кальцием. В одних разрезах (преимущественно на богатых основаниями породах) эта фракция гумусовых веществ представлена по всему почвенному профилю, в других – содержится лишь в верхних горизонтах, а в маломощной неполноразвитой почве (разрез 48-62)) концентрируется на контакте с горной породой. Таким образом, по мере движения к югу доля участия фракций, связанных с кальцием, в составе гуминовых кислот возрастает, что обусловлено изменением состава растительности и скорости высвобождения кальция при разложении растительных остатков.

Обобщенные данные (табл. 72) указывают на закономерное увеличение к югу содержания кальция в хвое сосны, в напочвенном покрове и в подстилке. При этом интересно заметить, что ряды биологического накопления всех элементов, кроме кальция, по абсолютному содержанию практически не отличаются в хвое сосны на севере и юге ее ареала на Урале, что свидетельствует о возрастании роли кальция в круговороте веществ к югу. О глубине превращения их можно судить по составу микроорганизмов, входящих в микробную ассоциацию данной почвы, и прежде всего по величине отношения МПА к КАА: чем меньше величина этого отношения, тем интенсивнее процессы минерализации. Для оценки подзональных отличий (северная и южная тайга) в степени минерализации органического вещества по величине отношения бактерий МПА : КАА рассчитывались средние показатели для 25-сантиметровой толщи почвенного профиля на примере почв горной провинции. Полученные данные (табл. 73) показывают, что величина МПА:КАА в северной тайге горной провинции составляет 3,2 ± 0,9, а в южнотаежной подзоне этой провинции – 0,8 ± 0,4, т.е., исходя из полученных нами данных, можно сделать вывод, что в южнотаежной подзоне горной провинции степень разложения органического вещества приблизительно в 4 раза выше, чем в северной. Отмеченные закономерности изменения интенсивности минерализации по МПА : КАА статистически достоверны.

Интенсивность процессов превращения органического вещества и его состав тесно связаны с соотношением различных групп микроорганизмов. Микробный спектр таежных почв под разными типами лесной растительности неодинаков [Кулай, 1970; 1972; Фирсова, Кулай, 1974]. Тем не менее на основе сравнения имеющихся данных можно отметить некоторые общие черты, присущие почвам той или иной провинции или подзоны. В микробном спектре почв северной тайги (рис. 14) преобладают бактерии на МПА при значительном участии олигонитрофилов. Изученные группы микроорганизмов по уменьшению их участия в составе микрофлоры для почв северной тайги можно расположить в следующий ряд: МПА > олигонитрофилы > КАА > спорообразующие > грибы. В этих почвах отсутствуют актиномицеты и в незначительном количестве представлены грибы. В почвах южнотаежной подзоны роль перечисленных групп микроорганизмов в микробном спектре меняется. Так, в горных почвах этой подзоны первое место занимают бактерии на КАА и рассматриваемые группы по

Таблица 72

Содержание кальция (средние данные), % на абс. сухую навеску

Подзона тайги	Хвоя сосны	Напочвенный покров			Подстилка		
		брусничный	зеленомошно-ягодниковый	травяной	брусничная	зеленомошно-ягодниковая	травяная
Северная	0,46	0,56	0,68	1,03	0,85	0,96	2,24*
Предлесостепная	0,60	0,75	0,84	1,98	1,45	1,43	2,35

*Данные приведены по средней тайге.

Таблица 73

Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия в подстилке и гумусовом горизонте, мг на 100 г почвы

Подзона тайги	Тип сосняка	Горизонт	N	K	P
Северная	Брусничный	A_0	64,4	27,3	21,8
	"	A_1	6,3	13,2	4,4
	Бруснично-багульниковый	A_0	61,3	23,0	16,9
	"	A_1	7,4	14,8	5,4
Южная	Брусничный	A_0	59,2	128,3	69,3
	"	A_1	11,9	23,2	7,4
	Ягодниковый	A_0	61,2	87,0	77,8
	"	A_1	16,6	20,2	8,4
	Разнотравный	A_0	83,2	289,8	147,4
	"	A_1	28,5	47,1	16,1

уменьшению удельного веса в микробном спектре образуют ряд: КАА > > МПА > актиномицеты > спорообразующие > олигонитрофилы > грибы. Сравнение этих рядов с северотаежными показывает, что в горной провинции микробный спектр с севера на юг меняется более значительно. Кроме того, видовой состав микрофлоры южнотаежных почв более богат и разнообразен [Фирсова, Кулай, 1974]. Представители сем. Сассасеа здесь в отличие от северной тайги встречаются крайне редко. Среди них обнаружены Micr. tetragenus, Micr. aureus и Micr. cardidus. Бактериальная флора представлена Ps. gracilis, Ps. fluorescens, Ps. liquefaciens, Chr. flicatum, Azotomonas fluorescens, Ps. liquefaciens, B. solitarium, B. nitrificans. Еще более обогащается видовой состав спорообразующих форм бактерий. К наиболее часто встречающимся видам бацилл следует отнести: Bac. glutinosus, Bac. megaterium, Bac. cdosus , Bac. oligonitrofilus, Bac. petasites, Bac. virganus, Bac. quercifolius и Bac. aerifaciens. Кроме того,

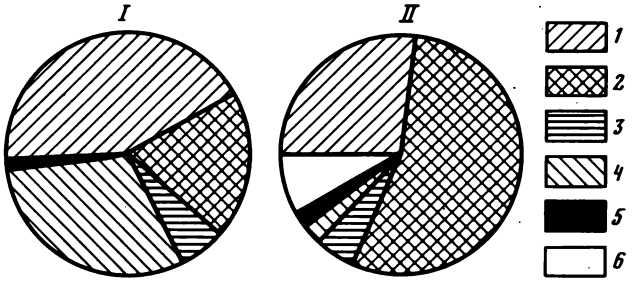


Рис. 14. Микробный спектр почв горной провинции Урала

I – северная тайга, *II* – южная тайга *1* – МПА, *2* – КАА, *3* – спорообразующие бактерии, *4* – олигонитрофилы, *5* – грибы, *6* – актиномицеты

если представители рода Actinomyces в северотаежных почвах, как правило, не встречаются, то в почвах южной тайги состав актиномицетов довольно разнообразен: Act. globisporus, Act. farinosus, Act. griseus, Act. flaveolus, Act. rectus, Act. ruber, Act. parvis, Act. candidus, Act. verticillatus.

Учитывая, что интенсивность микробиологических процессов с севера на юг на Урале возрастает в несколько раз быстрее, можно предполагать, что в первом случае – полнее и бо́льшая масса опада успевает минерализоваться за теплый период года, а следовательно, больше высвободится кальция, способного связывать гумусовые кислоты. Отсюда становится понятным, почему в южнотаежных почвах горной полосы во фракционном составе гумуса обнаружены гуматы кальция, отсутствующие в северотаежных почвах.

Скорость биологического круговорота и продуктивность растительных сообществ в значительной степени зависят от мобильности питательных элементов в почвах. В связи с этим проведено сравнительное изучение содержания основных питательных элементов NPK в подстилке и гумусовом горизонте почв в разных типах леса в северной и южной тайге [Фирсова, Павлова, 1971]. Лесные подстилки всех типов леса характеризуются высоким содержанием легкогидролизуемого азота, подвижных фосфора и калия (см. табл. 73). Содержание легкогидролизуемого азота в подстилках разных подзон практически не отличается. Можно отметить лишь более высокое его количество в подстилке сосняка разнотравного южной тайги. Содержание калия и фосфора в подстилках южнотаежных лесов значительно выше, чем в северотаежных. Закономерное увеличение к югу подвижных NPK отчетливо выражено по содержанию их в гумусовом горизонте. Однако количество их в этом горизонте значительно ниже, чем в подстилке. Сопоставление данных содержания подвижных азота, фосфора и калия в подстилке и гумусовом горизонте показывает, что в северной тайге количество подвижного азота падает более резко (в 8–10 раз в A_1 меньше, чем в A_0), чем в южной тайге (в 3–5 раз). Напротив, количество фосфора и калия убывает в гумусовом горизонте по сравнению с источником их поступления (A_0) в южной тайге более резко, чем в северной, а именно: количество фосфора в A_1 по сравнению с A_0 в северной тайге в 3–5 раз

меньше, а в южной тайге – в 9 раз. Содержание калия уменьшается в 2 раза в северной тайге и в 4–6 раз – в южной. Отсюда следует вывод, что легкогидролизуемый азот, высвобождаясь из подстилок, лучше закрепляется в почвах южнотаежной подзоны, а фосфор и калий – в почвах северной тайги.

Очевидно, что при более интенсивном разложении подстилок в южнотаежных лесах образующиеся подвижные формы фосфора и калия быстрее потребляются растениями, чем и объясняется их более резкое снижение в гумусовом горизонте. Резкое уменьшение легкогидролизуемого азота в A_1 относительно A_0 в северотаежных почвах, по-видимому, является следствием высокой мобильности в этих условиях гумусовых веществ, которыми увлекаются и выносятся из верхних горизонтов также и легкоподвижные формы азота. Более высокое (в 2–3 раза) содержание в гумусовом горизонте, где сосредоточена основная масса корневых систем растений, подвижных форм азота, фосфора и калия в южнотаежных почвах по сравнению с северотаежными обеспечивает вдвое бо́льшую производительность сосновых лесов на юге таежной зоны.

Для оценки роли биологического круговорота в почвообразовании большое значение имеет интенсивность круговорота. Под интенсивностью круговорота понимают количество ежегодно перемещающихся в биогеоценозе элементов, их величину и скорость прохождения через биогеоценоз [Карпачевский, 1981]. Скорость прохождения элемента через биогеоценоз зависит в первую очередь от скорости высвобождения его при разложении опада подстилки. В процессе разложения органических веществ происходит переход элементов из труднодоступных для растений форм в легкодоступные (подвижные) формы, часть из которых перехватывается и поглощается растениями, другая – нисходящим током воды переносится в нижележащие горизонты. Наиболее энергично перераспределение элементов при разложении органического вещества происходит в подстилке и гумусовом горизонте.

Для оценки характера перераспределения элементов по слоям подстилки, т.е. в процессе ее разложения, определялось отношение содержания элемента в A_0'' к содержанию его в A_0'($A_0'' : A_0'$) в расчете на чистую золу. Если эта величина > 1, то происходит накопление элементов в A_0'', если < 1 – наблюдается его вынос; чем ближе величина отношения к 1, тем стабильнее элемент.

Полученные данные показали (табл. 74), что в подстилках всех типов леса (независимо от подзоны) в процессе их разложения происходят накопление кремния, алюминия, железа и вынос фосфора, калия и серы. В подстилках северных лесов кальций и магний выносятся, в южных – в большинстве случаев накапливаются.

В этой связи представляет интерес проследить изменение состава зольных элементов в процессе разложения основных компонентов, составляющих подстилку. Для нашего изучения были взяты: хвоя сосны и зеленые мхи. Сравнивали химический состав опавшей побуревшей хвои и отмершей побуревшей части мхов (табл. 75) с зеленой хвоей (см. табл. 20) и зеленой частью мхов (см. табл. 35). Приведенные данные показывают, что разложение хвои сопровождалось накоплением кремния и полуторных окислов и обеднением фосфором, калием и серой. При разложении зеленых

Таблица 74

Вынос – накопление зольных элементов при разложении подстилок $A_0'' : A_0'$ (по средним данным)

Тип сосно-вого леса	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	SO_3
				Северная и средняя тайга				
Брусничный	1,2	1,0	1,1	0,5	0,6	0,5	0,4	–
Бруснично-багульниковый	1,0	1,2	1,1	0,8	0,8	0,6	0,4	–
Зеленомошно-ягодниковый	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,6	0,3	0,5
Крупнотравный	1,2	1,2	1,1	0,5	0,7	0,7	0,6	0,6
				Южная тайга и предлесостепь				
Брусничный	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	0,5	0,7	0,8
Ягодниковый	1,2	1,3	1,3	0,9	1,4	0,7	0,8	0,4
Зеленомошно-ягодниковый	1,1	1,3	1,2	0,7	1,0	0,8	0,9	0,5
Разнотравный	1,1	1,5	2,4	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4

Таблица 75

Химический состав опавшей хвои и побуревшей части мха, % на чистую золу

№ пробной площадки	Тип сосняка	Зольность, %	N	SiO_2
15 (65)	Брусничный:			
	хвоя	3,82	0,84	17,20
	мох	5,17	0,94	28,93
15 (69)	Зеленомошно-ягодниковый:			
	хвоя	4,43	0,90	18,20
	мох	9,98	0,98	28,06
16 (69)	Крупнотравный:			
	хвоя	3,42	0,70	20,55
	мох	5,13	1,13	26,19
30 (68)	Брусничный:			
	хвоя	5,18	1,13	18,34
	мох	5,70	1,50	36,44
31 (68)	Ягодниковый:			
	хвоя	4,82	1,00	20,82
	мох	4,98	1,66	36,43
5 (68)	Брусничный:			
	хвоя	4,12	0,97	28,06
	мох	6,11	1,14	43,92
4 (68)	Зеленомошно-ягодниковый:			
	хвоя	3,89	1,03	20,54
	мох	6,43	1,63	41,67
8 (68)	Разнотравный:			
	хвоя	5,44	0,84	21,12
	мох	5,84	1,68	40,08

мхов в северных частях таежной зоны кальций и магний выносятся, а южных – накапливаются.

Существенных изменений в выносе – накоплении химических элементов в подстилках и составляющих их компонентах (табл. 76) в зависимости от типа леса не обнаружено.

Выявленная нами закономерность перераспределения элементов в подстилках при разложении их согласуется с имеющимися в литературе данными [Зонн,1954; Ремезов, 1956; Василевская, 1958; Градусов, 1958; Родин, Базилевич, 1965, Габеев, 1972; и др.]. Объяснение этому было дано в работах А.И. Перельмана [1975] и А.И. Троицкого [1949], которыми было показано, что кремний, железо, алюминий являются инертными элементами и слабыми водными мигрантами. Таким образом, выщелачивание их водой из растительных остатков возможно только в очень малой степени и при условии интенсивного разложения растительных остатков. Такие элементы, как К, Р, Са, Mg, являются более растворимыми и могут выщелачиваться из растительных остатков без их глубокого разложения.

Таким образом, в процессе разложения подстилок и их компонентов по мере движения к югу в пределах таежной зоны Урала наблюдаются снижение подвижности кальция и закрепление его в органогенных горизонтах.

Известно, что одним из важнейших звеньев биологического круговорота является поглощение элементов растениями. По преобладающим элементам

Al_2O_3	Fe_2O	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	SO_3
10,75	4,35	38,29	8,22	3,10	4,24	4,70
6,63	11,16	21,27	6,54	6,40	9,34	5,10
10,11	7,12	39,62	14,60	2,16	3,14	3,14
11,42	16,93	10,05	5,62	13,34	5,41	5,39
9,43	6,59	30,85	8,20	10,00	7,46	3,94
7,18	16,11	15,03	4,62	15,20	3,18	7,54
12,86	4,32	32,18	12,07	4,10	7,46	2,18
12,43	8,11	19,98	8,46	5,14	4,10	3,41
8,92	5,16	28,52	14,11	10,36	10,82	3,54
10,12	6,18	23,43	7,06	6,12	4,41	5,11
8,13	6,18	33,00	15,15	1,18	5,12	2,31
15,09	8,43	14,86	11,24	2,11	2,16	3,12
12,87	5,24	30,92	12,84	1,25	10,48	1,46
8,89	6,42	14,11	17,12	2,77	2,14	6,13
7,14	3,46	31,54	5,36	4,81	15,16	2,38
9,08	7,12	24,13	12,12	2,10	3,43	2,13

Таблица 76

Вынос–накопление зольных элементов при разложении зеленых мхов и хвои сосны

№ пробной площадки	Подзона	Тип сосняка
15 (65)	Средняя тайга	Брусничный
15 (69)	"	Зеленомошно-ягодниковый
16 (69)	"	Крупнотравный
30 (68)	Южная тайга	Брусничный
31 (68)	"	Ягодниковый
5 (68)	Предлесостепь	Брусничный
4 (68)	"	Зеленомошно-ягодниковый
8 (68)	"	Разнотравный

* В числителе – зеленые мхи, в знаменателе – хвоя сосны.

в основной массе растений классифицируют типы биологического круговорота. Поскольку основным создателем органического вещества и поставщиком зольных элементов и азота является главная лесообразующая порода – сосна, то направленность круговорота определяется в первую очередь содержанием химических элементов в ее зеленой части (хвое). Как было показано выше, в ряду биологического накопления преобладающими элементами в хвое сосны являются азот, кальций и калий. Таким образом, полученные нами данные для таежных сосняков Урала не расходятся с имеющимися в литературе, что позволяет, следуя Л.Е. Родину и Н.И. Базилевич [1965], классифицировать такой тип круговорота азота и зольных элементов, как кальциево-азотный. Однако, учитывая большое участие калия в зольном составе хвои сосны и чтобы подчеркнуть ее отличие от других древесных пород, считаем целесообразным определить круговорот зольных веществ в сосняках как калиево-кальциево-азотный.

Другим компонентом лесного сообщества, содержащим большое количество зеленых ассимилирующих частей, является напочвенный покров, представленный в основном в таежной зоне Урала зелеными мхами, брусникой, черникой и реже (в южной тайге) разнотравьем. В рядах накопления химических элементов зелеными мхами и листьями брусники в наибольшем количестве представлены азот и кальций, а в листьях черники калия больше, чем кальция. Таким образом, зеленые опадающие части растений напочвенного покрова, подобно хвое сосны, определяют в основном кальциево-азотный тип круговорота, в сосняках черничниковых тип круговорота правильнее было бы определить как калиево-азотный. Таким образом, совокупное изучение опадающих частей растений доминирующей дре-

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	SO_3
1,3* / 2,5	1,0 / 1,5	1,1 / 2,0	1,0 / 1,5	0,7 / 0,5	0,6 / 0,2	0,8 / 0,2	0,6 / 0,8
1,2 / 2,0	2,6 / 1,9	1,4 / 2,8	0,7 / 1,5	0,7 / 1,2	0,5 / 0,1	0,8 / 0,2	0,9 / 0,7
1,4 / 2,4	1,3 / 1,5	1,4 / 4,1	1,0 / 1,3	0,8 / 0,7	0,7 / 0,7	0,5 / 0,4	0,6 / 0,4
1,5 / 1,5	1,7 / 1,4	1,3 / 3,2	1,2 / 1,1	1,4 / 0,8	0,6 / 0,5	0,2 / 0,5	0,5 / 0,6
1,6 / 1,4	1,4 / 1,3	1,2 / 2,2	1,2 / 1,1	1,1 / 1,2	0,7 / 0,7	0,3 / 0,7	0,4 / 0,6
1,3 / 2,3	1,1 / 1,9	1,3 / 2,8	1,1 / 1,4	1,1 / 0,7	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3	0,3 / 0,
1,3 / 1,9	1,1 / 1,8	1,4 / 3.6	1,1 / 1,3	1,3 / 0,7	0,7 / 0,2	0,2 / 0,5	0,5 / 0,2
1,1 / 1,4	1,1 / 1,4	1,2 / 1,8	1,2 / 1,1	1,3 / 0,5	0,4 / 0,6	0,3 / 0 7	0,4 / 0,4

Таблица 77

Коэффициенты биологического поглощения

Отдельные виды растений								
Хвоя сосны	P / 397	S / 32	Ca / 8,4	K / 6,0	Mg / 3,5	Si / 0,5	Al / 0,4	Fe / 0,3
Зеленые мхи	P / 430	S / 62	Ca / 5,4	K / 3,2	Mg / 5,2	Fe / 0,8	Al / 0,6	Si / 0,5
Брусника	P / 570	S / 74	Ca / 6,7	K / 4,4	Mg / 3,2	Al / 0,4	Fe / 0,3	Si / 0,2
Черника	P / 830	S / 58	K / 6,0	Ca / 4,4	Mg / 3,4	Al / 0,9	Fe / 0,2	Si / 0,1
Ассоциации напочвенного покрова								
Брусничная северотаежная	P / 345	S / 76	Ca / 6,7	K / 4,0	Mg / 2,5	Al / 1,0	Si / 0,5	Fe / 0,08
Брусничная среднетаежная	P / 282	S / 67	Ca / 6,6	K / 3,1	Mg / 1,7	Al / 0,9	Si / 0,3	Fe / 0,06
Брусничная южнотаежная	P / 310	S / 67	Ca / 6,7	K / 3,9	Mg / 2,7	Al / 1,0	Si / 0,2	Fe / 0,17
Бруснично-багульниковая северотаежная	P / 332	S / 59	Ca / 6,4	K / 3,8	Mg / 3,3	Al / 1,4	Si / 0,4	Fe / 0,12

Таблица 77 (окончание)

Отдельные виды растений								
Ассоциации напочвенного покрова								
Зеленомошно-ягодниковая северотаежная	P	S	Ca	K	Mg	Al	Si	Fe
	338	61	6,6	4,1	2,7	0,7	0,4	0,06
Зеленомошно-ягодниковая среднетаежная	P	S	Ca	K	Mg	Al	Si	Fe
	269	48	7,3	3,9	2,7	0,9	0,4	0,05
Зеленомошно-ягодниковая южнотаежная	P	S	Ca	K	Mg	Al	Si	Fe
	358	52	6,3	2,7	2,7	0,6	0,5	0,09
Травяная среднетаежная	P	S	Ca	K	Mg	Al	Si	Fe
	457	82	7,4	5,6	2,8	0,8	0,2	0,04
Травяная южнотаежная	P	S	Ca	K	Mg	Al	Si	Fe
	483	74	8,1	7,0	2,8	0,4	0,1	0,10

Таблица 78

Круговорот азота и зольных элементов, кг/га

Тип сосняка	Круговорот	N	Si
Брусничный	Потребляется	22,10	2,94
	Возвращается	19,77	2,74
	Удерживается	2,42	0,20
Ягодниковый	Потребляется	29,34	5,34
	Возвращается	26,09	4,94
	Удерживается	3,25	0,40
Разнотравный	Потребляется	43,35	7,25
	Возвращается	34,97	6,55
	Удерживается	8,38	0,70

весной растительной формации и напочвенного покрова позволяет уточнить известные представления о типах круговорота веществ в лесах таежной зоны.

Одним из критериев биологического круговорота может служить коэффициент биологического поглощения элементов растениями A_x, рассчитанный как отношение среднего содержания элемента в золе к среднему содержанию этого элемента в земной коре (кларку). Этот коэффициент характеризует биологическую природу поглощения элементов растениями [Карпачевский, 1981]. При $A_x > 1$ элементы накапливаются в растениях, при $A_x < 1$ – только захватываются.

Из рассматриваемых нами элементов как отдельными видами растений (хвоей сосны, брусникой, черникой, зелеными мхами), так и растительными ассоциациями энергично накапливаются фосфор и сера (A_x – 100 n), сильно накапливаются калий, кальций, магний (A_x – n) и слабо и очень слабо захватываются кремний, алюминий, железо (A_x – 0,n – 0,0n).

Коэффициенты биологического поглощения для ассоциаций напочвенного покрова (брусничных, бруснично-багульниковых, зеленомошно-ягодниковых, травяных) для всех подзон аналогичны (табл. 77), разница выражается в цифровом значении A_x: фосфор, кальций, калий несколько энергичнее поглощаются травяными ассоциациями; брусничные и особен-

но бруснично-багульниковые ассоциации отличаются более энергичным поглощением алюминия по сравнению с травяными и зеленомошно-ягодниковыми.

Отдельные виды растений больше различаются по интенсивности поглощения элементов по сравнению с растительными ассоциациями в целом. Хвоя сосны отличается пониженным потреблением фосфора и серы и несколько повышенным потреблением калия (A_x – 6,0). Для зеленых мхов незначительна энергия поглощения калия (A_x – 3,2) и повышен захват инертных элементов – железа, кремния, алюминия. Брусника выделяется довольно интенсивным поглощением фосфора и серы, черника потребляет с максимальной энергией фосфор и алюминий.

Таким образом, сравниваемые виды растений в силу своих физиологических особенностей различаются по интенсивности поглощения отдельных элементов, что важно для понимания не только экологии этих видов, но и природы органических веществ, образующихся при разложении их опада, которые связаны на севере таежной зоны с полуторными окислами, а на юге формируются при значительной роли кальция. Мы рассмотрели

Al	Fe	P	K	Ca	Mg
4,93	1,66	2,01	8,40	13,43	3,86
3,42	1,54	1,57	6,91	10,70	3,19
1,51	0,12	0,44	1,49	2,73	0,67
7,22	1,28	3,20	9,38	17,38	5,60
5,59	1,03	2,44	7,44	15,24	4,81
1,63	0,25	0,76	1,94	2,14	0,79
8,80	1,77	7,87	21,56	33,76	16,43
6,06	1,30	5,71	13,97	28,16	13,43
2,74	0,47	2,16	3,59	5,54	2,00

некоторые параметры биологического круговорота в географическом аспекте – на примере четырех подзон таежной зоны Урала. Наши исследования показали идентичность химического состава растений и подстилок в южнотаежной и предлесостепной подзонах, что послужило основанием для обобщения их при рассмотрении круговорота веществ. Используя количественные показатели текущего годичного прироста и опада, полученные при стационарных исследованиях, проведенных в предлесостепной подзоне Урала Ю.Д. Абатуровым [1966], и наши данные по содержанию зольных элементов и азота, провели расчет круговорота зольных элементов и азота в трех типах сосновых лесов: сосняках брусничных, ягодниковых и разнотравных (табл. 78).

Наибольшее количество азота и зольных элементов потребляется, возвращается с опадом и удерживается растительностью в сосняках разнотравных, наименьшее – в сосняках брусничных. Сосняки разнотравные потребляют в 2 раза больше азота, в 2 с лишним раза больше калия и кальция и почти в 4 раза – фосфора и магния по сравнению с брусничными. Сосняки ягодниковые занимают промежуточное положение. В наибольшем количестве во всех трех типах леса потребляются и возвращаются с опадом азот, кальций, калий.

ЛИТЕРАТУРА

Абатуров Ю.Д. Краткая характеристика почв сосновых типов леса Ильменского заповедника. – В кн.: Вопросы развития лесного хозяйства на Урале. Свердловск, 1961, с. 47–59 (Тр. Ин-та биологии УФАН СССР; Вып. 25).

Абатуров Ю.Д. Некоторые особенности биологического круговорота азота и зольных элементов в сосняках Южного Урала. – Тр. Ин-та биологии УФАН СССР, Свердловск, 1966, вып. 55, с. 69–79.

Авдошенко А.К. Биология северных брусничных. – Учен. зап. Ленингр. пед. ин-та, 1949, т. 82, с. 181–219.

Агроклиматический справочник по Свердловской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 196 с.

Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 481 с.

Бейдеман И.Н., Гагарин П.К., Паутова В.Н. Продуктивность, запас воды и минеральных веществ в некоторых сообществах южной тайги Большого Ушканьего острова. – Тр. Лимнол. ин-та СО АН СССР, 1969, т. 17(37), с. 173–227.

Бобрицкая М.А. Методика зольного анализа растений. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1958. 39 с.

Богатырев К.П. Почвы Ильменского заповедника. – В кн.: Государственный Ильменский заповедник им. В.И. Ленина. Челябинск: Кн. изд-во, 1940а, с. 116–125.

Богатырев К.П. Генезис почв на кристаллических массивно-кристаллических породах, слагающих Ильменский заповедник. – Тр. Ильмен. заповедника, 1940б, т. II, с 121–127.

Богатырев К.П. Дерновые горно-лесные почвы как особая географическая формация высокогорного почвообразования. – Почвоведение, 1947, № 12, с. 704–714.

Богатырев К.П., Ногина Н.А. Почвы горного Урала. – В кн.: О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 5–49.

Вайчис М.В. Генезис и свойства лесных почв южной Прибалтики. Вильнюс: Минтис, 1975. 408 с.

Василевская Л.С. Изменение количества и состава лесной подстилки по типам леса. – Сб. науч. работ по лесн. хоз-ву, 1958, т. 12, с. 43–51.

Винокуров М.А., Миронов И.А., Шакиров К.Ш. О пестроте химических свойств верхних горизонтов дерново-подзолистых почв в лесу. – В кн.: Взаимоотношения леса с почвой. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1964, с. 119–133.

Высоцкий Г.Н. Почвообразовательные процессы в песках. – Изв. Рус. геогр. о-ва, 1911, вып. 6, т. 4. 75 с.

Габеев В.Н. Формирование лесной подстилки и содержание в ней зольных элементов в сосновых лесах Западной Сибири. – Тр. Биол. ин-та СО АН СССР, 1972, вып. 15, с. 99–120.

Геология СССР. т. XII, ч. I. Урал, кн. 1. М.: Недра, 1969. 721 с.

Гигаури Н.Г. Горные леса Закавказья. – В кн.: Горные леса СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1979, с. 119–127.

Говоренков Б.Ф. Круговорот элементов между растительностью и почвой в сосняке и лиственничнике на Карельском перешейке. – В кн.: География, генезис и плодородие почв. Л., 1972, с. 103–130.

Горбачев В.Н. Почвы нижнего Приангарья и Енисейского Кряжа. М.: Наука, 1967. 139 с.

Горбунов Н.И. Минералы и плодородие почв. – Агрохимия, 1956, № 7, с. 23–34.

Горчаковский П.Л. Важнейшие типы горных еловых и сосновых лесов южной части Среднего Урала. – Сб. тр. Урал. лесотехн. ин-та по лесн. хоз-ву, Свердловск, 1956, вып. 3, с. 7–49.

Горчаковский П.Л. Темнохвойная

тайга Среднего Урала и прилегающей части Северного Урала. – В кн.: Материалы по классификации растительности Урала: Свердловск, 1959, с. 18–22.

Горчаковский П.Л. Растительность Урала. – В кн.: Урал и Приуралье. М.: Наука, 1968, с. 211–262.

Горчарук Л.Т., Фирсова В.П., Новогородова Г.Г., Павлова Т.С., Дергачева М.И. Лесные почвы северного макросклона Большого Кавказа (в пределах Кавказского заповедника). – Тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, 1978, вып. 109, с. 36–62.

Градусов Б.Н. Влияние лесных подстилок на химические свойства почв в подзоне южной тайги. – Почвоведение, 1958, № 8, с. 111–117.

Гришина Л.А., Самойлова Е.М. Учет биомассы и химический анализ растений. М.: Изд-во МГУ, 1971. 98 с.

Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1972. 292 с.

Завалишин А.А. К вопросу о почвообразовании в средней тайге Зауралья. – Почвоведение, 1944, № 4/5, с. 197–205.

Захаров С.А. Почвоведение. М., 1931. 241 с.

Зонн С.В. Геоморфологические и почвенные условия произрастания леса в Теллермановском опытном лесничестве. – Тр. Ин-та леса АН СССР, 1950а, вып. 3, с. 19–66.

Зонн С.В. Горно-лесные почвы Северо-Западного Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1950б. 333 с.

Зонн С.В. Влияние леса на почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 100 с.

Зонн С.В. Почвы как компонент лесного биогеоценоза. – В кн.: Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964, с. 372–454.

Зонн С.В. Генетические особенности буроземообразования и псевдооподзоливания. – В кн.: Буроземообразование и псевдооподзоливание в почвах Русской равнины. М.: Наука, 1974, с. 9–76.

Зонн С.В., Карпачевский Л.О., Стефин В.В. Лесные почвы Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 252 с.

Зонн С.В., Урушадзе Т.Ф. Научные основы и методические указания к биогеоценотическому изучению почв горных лесов. Тбилиси, 1974. 113 с.

Зражевский А.И., Крот Е.И. Роль соснового насаждения в накоплении азота, фосфора, калия в почве. – Тр. Ин-та леса АН СССР, 1955, т. 24, с. 195–204.

Иванова Е.Н. Горно-лесные почвы Среднего Урала. – Тр. Почв. ин-та им В.В. Докучаева, 1949, т. 30, с. 56–142.

Иванова Е.Н. Почвы южной тайги Зауралья. – Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 1954, т. 43, с. 5–128.

Игошина К.Н. Растительность Урала. – В кн.: Растительность СССР и зарубежных стран: Геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964, вып. 16, с. 83–231.

Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 174 с.

Карпачевский Л.О. Некоторые особенности разложения лесного опада. – В кн.: Проблемы лесного почвоведения. М.: Наука, 1973, с. 51–65.

Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 262 с.

Карпачевский Л.О., Киселева Н.К. О методике учета опада и подстилки в смешанных лесах. – Лесоведение, 1968, № 3, с. 73–83.

Кашибадзе Т.В., Тарасашвили Н.Г. Сравнительная характеристика подстилок хвойных лесов Восточной Грузии. – Тр. Тбил. ин-та леса, М., 1967, т. XVI, с. 59–68.

Коваль И.П. Горные леса Северного Кавказа. – В кн.: Горные леса СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1979, с. 127–140.

Колесников Б.П. Естественно историческое районирование лесов (на примере Урала). – В кн.: Вопросы лесоведения и лесоводства: Докл. на V Всемир. конгр. М.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 51–57.

Колесников Б.П. Генетическая классификация типов леса и ее задачи на Урале. – В кн.: Тр. Ин-та биологии УФАН СССР, 1961, вып. 27, с. 3–45.

Колесников Б.П. Леса Свердловской области. – В кн.: Леса СССР. М.: Наука, 1969а, т. 4, с. 64–125.

Колесников Б.П. Леса Челябинской области. – В кн.: Леса СССР. М.: Наука, 1969б, т. 4, с. 125–157.

Колесников Б.П. Горные леса Урала. – В кн.: Горные леса СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1979, с. 140–153.

Корнев В.П. Лесная подстилка, ее строение, формирование и роль в биокруговороте зольного питания и азота в сосняках центральной части подзоны широколиственных лесов. Брянск: Обл. изд-во, 1966. 85 с.

Костылева Е.В. К методике отбора образцов хвои сосны и ели для листового анализа. – Тр. Петрозавод. лесн. опыт. станции. Петрозаводск: Карелия, 1973, вып. 2, с. 17–26.

Кошельков С.П. О формировании и подразделении подстилок в хвойных южнотаежных лесах. – Почвоведение, 1961, № 10, с. 19–29.

Кошельков С.П. Групповой состав органического вещества лесных подстилок хвойных лесов южной тайги. – Почвоведение, 1964, № 1, с. 23–31.

Кошельков С.П. Режим питания сосновых древостоев южной тайги. – Лесоведение, 1967, № 4, с. 64–71.

Крылов Г.В. Горные леса Западной Сибири. – В кн.: Горные леса СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1979, с. 171–185.

Кулай Г.А. Особенности формирования микробных ценозов в горно-лесных почвах Северного Урала. – Тр. ИЭРиЖ АН СССР, 1970, вып. 76, с. 29–50.

Кулай Г.А. Микробиологическая активность горно-лесных почв южной тайги Урала и Зауралья. – Тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, 1972, вып. 85, с. 164–187.

Куминова А.В., Зверева Г.А. Продуктивность естественной травяной растительности в фитоценозах в Восточном Саяне. – В кн.: Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971, с. 65–70.

Кылли Р. О взаимоотношениях между растительностью и почвой в экосистемах на почвах буроземного и псевдоподзолистого типов. – Сб. науч. тр. Эст. с.-х. акад., Тарту, 1971, № 75, с. 165–202.

Кылли Р., Ингермаа М. Запасы и состав опада и подстилок в некоторых типах произрастания леса. – Сб. науч. тр. Эст. с.-х. акад., Тарту, 1970, № 65, с. 92–106.

Кылли Р., Кьяхрик Р. Фитомасса и ее зольный состав в ельнике и сосняке кисличного типа произрастания леса. – Сб. науч. тр. Эст. с.-х. акад., Тарту, 1970, № 65, с. 233–262.

Левина В.И. Особенности обмена минеральных элементов между моховолишайниково-кустарничковым покровом и почвой в двух типах сосновых лесов Кольского полуострова. – Почвоведение, 1960, № 5, с. 30–43.

Левкина Т.И. К вопросу об отношении сеянцев древесных пород к реакции среды и известкованию почв лесных питомников. – В кн.: Возобновление на вырубках и выращивание сеянцев в питомниках. Петрозаводск, 1964, с. 11–19.

Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, 1973. 174 с.

Луганский Н.А., Земцов В.М. Характеристика лесной подстилки и влияние ее на лесовосстановление в сосновых насаждениях северной половины средней тайги Урала. – В кн.: Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск: Урал. лесн. опыт. станция ВНИИ лесн. хозва и мелиорации, 1968, вып. 2, с. 59–63.

Малянчинов С.Ш. Некоторые особенности круговорота зольных элементов в ельниках Внутреннего Тянь-Шаня и специфика формирования лесных почв. – В кн.: Рациональное использование земель Киргизии. Фрунзе: Илим, 1970, с. 46–55.

Мамаев С.А. Географическая изменчивость семян сосны обыкновенной. – Тр. ИЭРиЖ УФАН СССР, 1970, вып. 75, с. 76–81.

Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 283 с.

Манаков К.Н. Поглощение растительностью минеральных элементов и азота в лесах Кольского полуострова. – Почвоведение, 1961, № 8, с. 34–42.

Манаков К.Н. Характеристика растительного опада в некоторых лесных насаждениях Мурманской области. – Ботан. журн., 1962, 47, 8, с. 1201–1207.

Манаков К.Н. Круговорот зольных элементов и азота в пустынных таежных тундрах северо-востока Кольского полуострова. – Почвоведение, 1968, № 1, с. 80–93.

Манаков К.Н. Элементы биологического круговорота на Полярном Севере. Л.: Наука, 1970. 160 с.

Марченко А.И., Карлов Е.М. Минеральный обмен в еловых лесах северной тайги и лесотундры Архангельской области. – Почвоведение, 1962, № 7, с. 52–67.

Махатадзе Л.Б., Сванидзе М.А. Закономерности распределения лесной растительности и типы сосновых лесов горной Тушетии. – Тр. Тбилис. ин-та леса. М.: Лесн. пром-сть, 1968а, т. 17, с. 85–112.

Махатадзе Л.Б., Сванидзе М.А. Сосновые леса и закономерности распреде-

ления лесной растительности бассейна р. Ингури. – Тр. Тбилис. ин-та леса. М.: Лесн. пром-сть, 1968б, т. 17, с. 61–84.

Мелехов И.С. Об отложении лесной подстилки в зависимости от типа леса. – Тр. Архангел. лесотехн. ин-та, 1957, т. 17, с. 124–138.

Мина В.Н. Круговорот азота и зольных элементов в дубравах лесостепи. – Почвоведение, 1955, № 6, с. 32–45.

Миронов В.В. Выращивание сосновых насаждений на песчаных землях Юго-Востока. – Тр. Всесоюз. ин-та науч.-техн. информ. по сел. хоз-ву, 1966, вып. 14 (76), с. 41–46.

Михайленко М.М. Почвы южной тайги Западного Забайкалья. М.: Наука, 1967. 157 с.

Михайлова Р.П. К характеристике органического вещества горно-таежных почв северной части Среднего Урала. – Почвоведение, 1970, № 11, с. 37–46.

Молчанов А.А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 488 с.

Молчанов А.А. Круговорот органического вещества в процессе роста сосняка-черничника. – Сообщ. Лаб. лесоведения, М., 1961, вып. 5, с. 34–45.

Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.; Л., 1926. 368 с.

Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в сосняках брусничных и лишайниковых. – В кн.: Почвы сосновых лесов Карелии. Петрозаводск, 1978, с. 85–112.

Мусорок Г.Г. К вопросу об обеспечении элементами питания основных лесообразующих пород темнохвойных лесов Сихотэ-Алиня. – В кн.: Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток, 1970, с. 47–54.

Надеждин Б.В. К вопросу о взаимодействии древесной растительности и почв в сосновых лесах южной части средней Сибири. – Изв. Вост.-Сиб. фил. АН СССР, 1957, № 3, с. 115–125.

Ногина Н.А. Влияние пород на подзолообразование в горной части Среднего Урала. – Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 1948, т. 28, с. 105–120.

Обновленский В.М. Географическая изменчивость сосны обыкновенной. – Тр. Брян. лесохоз. ин-та, 1951, вып. 5, с. 12–18.

Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во МГУ, 1974. 332 с.

Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 322 с.

Орлова Н.И. Сосна в Мурманской области. – В кн.: Флора и растительность Мурманской области. Л.: Наука, 1972, с. 3–32.

Павлова Т.С. Зольный состав хвои сосны в южнотаежных лесах Урала. – Тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, Свердловск, 1972, вып. 85, с. 187–192.

Павлова Т.С. Взаимосвязь между растительностью и почвой в сосняках Средней тайги Урала.: Тез. докл. V делегат. съезда ВОП. Минск, 1977, вып. 5, с. 65–67.

Павлова Т.С. Взаимосвязь между растительностью и почвой в сосновых лесах Северного Урала. – В кн.: Тез. докл. VIII симпоз. "Биологические проблемы Севера". Апатиты, 1979, с. 32–33.

Павлова Т.С., Дергачева М.И. Запасы и химические свойства подстилок сосновых лесов Урала. – В кн.: Исследование почв Сибири. Новосибирск: Наука, 1977, с. 164–172.

Паршевников А.А. Изменение зольного состава хвои с возрастом в некоторых типах еловых лесов. – Ботан. журн., 1959, т. 44, № 2, с. 228–231.

Паршевников А.Л. Круговорот азота и зольных элементов в связи со сменой пород в лесах средней тайги. – Тр. Ин-та леса АН СССР, 1962, т. 52, с. 196–210.

Пастернак П.С. Горные леса Украинской ССР. – В кн.: Горные леса СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1979, с. 105–119.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1966. 392 с.

Побединский А.В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука, 1965. 268 с.

Поздняк Л.К. О накоплении лесной подстилки в сосновых лесах. – ДАН СССР, 1953, т. 93, № 6, с. 1111–1112.

Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск, 1969. 155 с.

Полынов Б.Б. Красноземная кора выветривания и ее почвы. – Почвоведение, 1944, № 1, с. 3–18.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л.: Центр. музей почвоведения им. В.В. Докучаева, 1975. 202 с.

Портгасаар В.И. О диагностике питания сеянцев сосны обыкновенной по данным химического анализа хвои. – Учен. зап. Тарт. ун-та, 1966а, № 185, с. 12–19.

Портгасаар В.И. Химический состав хвои сосны при разных условиях питания. – Изв. АН ЭССР, 1966б. Сер. биол., № 2, с. 18–23.

Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. М.: Наука, 1964. 190 с.

Проблемы физической географии Урала. М.: Изд-во МГУ, 1966. 292 с.

Прокаев В.И. Физико-географическое районирование Свердловской области. Свердловск, 1976.

Пьявченко Н.И. Биологический круговорот азота и зольных элементов в болотных лесах. – Почвоведение, 1960, № 6, с. 21–33

Райд Л.К. Эдафические условия в брусничном и черничном типах местопроизрастания леса: Автореф. дис.... канд. биол наук. Тарту, 1969. 32 с.

Ремезов Н.П. О роли леса в почвообразовании. – Почвоведение, 1953, № 2, с. 32–43.

Ремезов Н.П. Биологический круговорот и почвообразовательные процессы. – Тр. Воронеж. заповедника, 1954, вып. 5, с. 98–113.

Ремезов Н.П. Роль биологического круговорота элементов в почвообразовании под пологом леса. – Почвоведение, 1956, № 7, с. 68–80.

Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М. Биологический круговорот азота и зольных элементов в лесных насаждениях. – Тр. Ин-та леса АН СССР, 1955, т. 24, с. 167–195.

Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах Европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1959. 284 с.

Ремезов Н.П., Смирнова К.М., Быкова Л.Н. Некоторые итоги изучения роли лесной растительности в почвообразовании. – Вестн. МГУ, 1949, № 6, с. 48–61.

Репневская М.А. К изучению подзолов сосновых лесов юго-западной части Кольского полуострова: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Л., 1970. 19 с.

Рийспере А.Ю. О минеральном питании сосны обыкновенной на маломощных перегнойно-карбонатных (альварных) почвах. I . Влияние концентрации кальция, магния и бикарбоната в среде на питание сеянцев в песчаных культурах. – Изв. АН ЭССР, 1966. Сер. биол., № 15 (4), с. 530–550.

Ржанникова Г.К. Сравнительная характеристика свойств почв сосновых и березовых лесов южной тайги Зауралья. – Тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, Свердловск, 1972, вып. 85, с. 108–119.

Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 252 с.

Рожнова Т.А. Почвенный покров Карельского перешейка. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 183 с.

Рожнова Т.А., Счастная Л.С. Изучение взаимосвязи растительности и почв в условиях Карельского перешейка. – Почвоведение, 1959, № 1, с. 19–30.

Руднева Е.Н., Тонконогов В.Д., Дорохова К.Я. Круговорот зольных элементов и азота в ельниках-зеленомошниках северной тайги бассейна р. Мезень. – Почвоведение, 1966, № 3, с. 14–26.

Рысин П.П., Антюхина В.В. Химический состав травяно-кустарничковых растений сосновых лесов Подмосковья. – Экология, 1977, № 1, с. 36–47.

Рябуха Е.В. Накопление лесной подстилки в насаждениях Украинского полесья. – Лесоведение, 1972, № 1, с. 26–35.

Синицын С.Г. Лесной фонд горных районов СССР. – В кн.: Горные леса СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1979, с. 5–29.

Смирнов В.В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах Европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с.

Смирнов В.В., Кузьмина Е.А. Сезонные изменения в хвое ели и сосны. – Бюл. МОИП. Отд. биол., 1966, вып. 71, № 4, с. 83–94.

Смолоногов Е.П., Кирсанов В.А., Трусов П.Ф. Классификация лесорастительных условий и типы леса Лозьвинского Урала. – В кн.: Проблемы типологии и классификация лесов. Свердловск, 1972, с. 78–103. (Тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР; Вып. 84).

Смолоногов Е.П., Никулин В.И. Природные и экономические условия эксплуатации лесов южной части Уральского Приобья. Свердловск: УФАН СССР, 1963. 120 с.

Соколов А.В. Агрохимия фосфора. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 150 с.

Справочник по климату СССР: Температура воздуха и почв. Л.: Гидрометеоиздат, 1968, вып. 9. 362 с.

Степанов Н.Н. Химические свойства лесной подстилки как основного фактора естественного лесовозобновления. – Тр. по лесн. опыт. делу Центр. опыт. станции, л., 1929, вып. 23, с. 34–56.

Струве Э.А. Сборник анализов изверженных и метаморфических горных пород СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 526 с.

Тархова Т.Н. О влиянии почвенных факторов на развитие лесов. – Экология, 1970, № 4, с. 30–40.

Терешенкова И.А. Влияние напочвенной растительности на запасы подстилок и содержание в них азота, фосфора, калия. – Ботан. журн., 1962, т. 47, № 7, с. 145–178.

Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 186 с.

Травникова Л.С. О неоднородности почвенного покрова и методике взятия образцов почв в лесу для химического анализа. – Тр. Воронеж. заповедника, 1961, вып. 13, с. 23–30.

Троицкий А.И. Обмен минеральных элементов между почвой и растительностью. – В кн.: Проблемы советского почвоведения, 1949, т. 15, с. 31–43.

Урал и Приуралье. М.: Наука, 1968. 460 с.

Фильрозе Е.М. Типы леса Ильменского государственного заповедника и их динамика. – В кн.: Тр. по лесному хозяйству Сибири. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1958, вып. 4, с. 157–163.

Фильрозе Е.М. Схема генетической классификации типов леса тайги восточного макросклона Южного Урала и северной лесостепи восточно-уральского пенеплена. – Тр. Ин-та биологии УФАН СССР, Свердловск, 1967, вып. 53, с. 119–157.

Фирсова В.П. Генетические особенности и лесорастительные свойства лесных почв Среднего Урала. – В кн.: Лес и почва. Красноярск: Изд-во СО АН СССР, 1968а, с. 149–156.

Фирсова В.П. К вопросу о распределении и свойствах бурных лесных почв на Урале. – В кн.: Лес и почва. Красноярск: Изд-во СО АН СССР, 1968б, с. 200–204.

Фирсова В.П. Лесные почвы Свердловской области и их изменение под влиянием лесохозяйственных мероприятий. – Тр. Ин-та биологии УФАН СССР, Свердловск, 1969, вып. 63. 151 с.

Фирсова В.П. Особенности почвообразования в северотаежной подзоне Урала. – Тр. ИЭРиЖ УФАН СССР, вып. 76, 1970а, с. 3–18.

Фирсова В.П. Подзолообразование и буроземообразование в почвах лесной зоны. – Тр. ИЭРиЖ УФАН СССР, 1970б, вып. 67, с. 70–79.

Фирсова В.П. Особенности горного почвообразования на Урале: Тез. докл. к IV Всесоюз. съезду почвоведов, 1970в, ч. 1, с. 178–179.

Фирсова В.П. Почвы таежной зоны Урала и Зауралья. М.: Наука, 1977. 175 с.

Фирсова В.П. Генезис и свойства бурых горно-лесных почв Урала. – В кн.: Почвы и их биологическая продуктивность. Тарту, 1979, с. 70–72.

Фирсова В.П., Дергачева М.И. Состав гумуса и свойства почв кедровых лесов Северного Урала. – Тр. ИЭРиЖ УФАН СССР, Свердловск, 1970, вып. 76, с. 18–29.

Фирсова В.П., Дергачева М.И. Состав органического вещества почв южнотаежных лесов Урала и Зауралья. – Тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, Свердловск, 1972, вып. 85, с. 18–28.

Фирсова В.П., Дергачева М.И., Павлова Т.С., Новогородова Г.Г., Степанов С.Б. Особенности горно-лесных почв Южного Урала. – В кн.: Особенности горного почвообразования под пологом лесов. Свердловск, 1978, с. 62–100. (Тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР; Вып. 109).

Фирсова В.П., Кулай Г.А. Микрофлора горно-лесных почв Урала. – В кн.: Материалы симпозиума "Динамика микробиологических процессов в почве". Таллин, 1974, ч. II, с. 147–151.

Фирсова В.П., Павлова Т.С. Содержание валовых и подвижных форм фосфора, калия и азота в системе напочвенный покров – подстилка – почва. – Экология, 1971, № 1, с. 12–21.

Фирсова В.П., Павлова Т.С. Зольный состав растений мохово-кустарничкового яруса лесов Южного Урала. – В кн.: Тез. докл. "Растительные ресурсы Южного Урала и Поволжья и вопросы их рационального использования". Уфа, 1974, с. 92–93.

Фирсова В.П., Павлова Т.С. Зольный состав растений северотаежных лесов Урала. – Экология, 1975, № 3, с. 30–35.

Фирсова В.П., Павлова Т.С. Биомас-

са напочвенного покрова, запасы и свойства подстилок сосновых лесов Урала.– В кн.: Биологическая продуктивность почв и ее увеличение в интересах народного хозяйства. М.: Изд-во МГУ, 1979, с. 173–174.

Фирсова В.П., Павлова Т.С. Лесная подстилка как показатель лесорастительной оценки почв. – В кн.: Тез докл. Всесоюз. совещ. "Пути и методы лесорастительной оценки почв и повышения их продуктивности". Пушкино, 1980, с. 192–194.

Фирсова В.П., Ржанникова Г.К. Почвы Уралмашевского лесхоза Свердловской области. – Тр. Ин-та биологии УФАН СССР, Свердловск, 1966, вып. 55, с. 47–69.

Фирсова В.П., Ржанникова Г.К. Генетические особенности бурых горнолесных почв Урала. – В кн.: Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. Владивосток, 1967, с. 82–83.

Фирсова В.П., Ржанникова Г.К. Бурые лесные почвы на гранитах Среднего Урала. – Почвоведение, 1968, № 6, с. 14–24.

Фирсова В.П., Ржанникова Г.К. Почвы южной тайги Урала и Зауралья. – Тр. ИЭРиЖ УНЦ СССР, Свердловск, 1972а, вып. 85, с. 3–83.

Фирсова В.П., Ржанникова Г.К. Сравнительная характеристика горнолесных почв Урала и некоторых других территорий. – В кн.: Генезис бурых лесных почв. Владивосток, 1972б, т. 10(113), с. 57–65.

Цветаев А.А. Климатические особенности горного района Иремель. – В кн.: Вопросы физической географии Урала. М., 1960, с. 101–113.

Чекалова М.И. Влияние свойств почвы на зольный состав однолетней хвои ели и листьев березы и рябины. – Почвоведение, 1967, № 1, с. 98–107.

Чертовской В.Г. Горные леса Мурманской области. – В кн.: Горные леса СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1979, с. 98–105.

Шахова О.В. Фитоценотическая характеристика травяно-мохового покрова лесных биогеоценозов южной тайги. – В кн.: Тез. докл. совещ. "Итоги научных исследований по лесоведению и лесной биогеоценологии". М., 1973, вып. 2, с. 17–18.

Шкляев А.С. Влияние атмосферной циркуляции на распределение и многолетние колебания осадков и стока (на примере Урала): Автореф. дис.... д-ра геогр. наук. М., 1964. 32 с.

Шумаков В.С. Динамика разложения растительных остатков и взаимодействие продуктов разложения с лесной почвой. – Тр. ВНИИ лесн. хоз-ва, 1941, т. 1, вып. 24, с. 2–23.

Шумаков В.С. Принципы классификации, номенклатуры и картирования лесных подстилок. – Сб. работ. по лесн. хоз-ву, Всесоюз. н.-и. агролесомелиор. ин-т. М.: Гослесбумиздат, 1958, № 35, с. 199–217.

Щербаков А.П., Туркова М.С. О распределении и миграции марганца в хвое сеянцев сосны, ели, лиственницы. – ДАН СССР, 1956, т. 107, № 4, с. 609–611.

Юркевич И.Д., Ярошевич Э.П. Аккумуляция зольных веществ и азота в живом напочвенном покрове сосновых биогеоценозов. – В кн.: Фитоценологические исследования в Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1972, с. 14–31.

Heinsdorf D. Beitrag uber die Beziehungen zwischen dem Cenalt an Makronahrstrofen N, P, Mg in Boden und Nadeln und der Nuchsfeistun von Kiefern kulturen in Mittelbrandenburg. – Albrecht-Thaer-Arch., 1963, 7, N 4.

Heinsdrof D. Zur Charakterisierung des Ernährungszustandes von Kiefernpflanzen durch den Nährstoffgehalt inrer Terminaltriebnadeln. – Arch. Forestw., 1967, **16**, N 6/9.

Hesselman H. Studien über die Humusdecken des Nadelwaldes, ihre Eigenschaften und deren Abhängig vom Waldbau. – Medd. Statens skogsforskningsinst., 1926, **22**, N 5.

Höhne H. Uber den Einfluss des Baumalters auf das Gemicht und den Elementgehalt 1 – bis 4 jahrigen Nadeln der Fichte. – Arch. Forstw., 1964, **13**, N 3.

Ingestad T. Macroelement nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. – Medd. Statens skogsforskningsinst., 1963, **51**, N 7.

Kundler P. Beurteilung forstlich genutzer Sandböden in nordostdeutschen Tiefland. – Arch. Forstw., 1956, **5**, N 9/10.

Lanz W. Forestdüngung. – Forstarchiv, 1969, **40**, N 2.

Leuton K., Armson K.A. Mineral composition of the foliage in relation to the growth of scotch pine. – Forest Sci., 1955, N 1.

Lundegardh H. Leef analysis. L., 1951.

Miller W.F. Annuul changes in foliar phosphorus and potassim levels of loblolly

pine (Pinus taeda L.) with site and weather factors. – Plant and Soil, 1966, **24**, N 3.

Ogdon G.D. Relationship between site index and foliage nitrogen at two growth levels for mature black spruce. – Forest Chron., 1964, **40**, N 2.

Ramann E. Bodenkunde, springer. Berlin, 1905, XII.

Scott B.R. Amount and chemical composition of organic matter contributed by overstory and understory vegetation to forest soil. – Bull. Yale Univ. School For., 1955, **62**.

Streeter D.T. Bryophyte ecology. – Sci. Progr., 1979, **58**, p. 419–434.

Tamm C.O. Studies on forest nutrition: Season variation in the nutrient content of conifer needles. – Medd. Skogsfrskb. Inst., 1956, **45**, N 5/6.

Tamm C.O. Growth of Hylocomium splendens in relation to tree canopy. – Bryologischt, 1964, **4**.

Wehrmann J. Metodische Untersuchungen zur Durchfuhrung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen. – Forstwiss. Cbl., 1959, **78**, H. 3/4. s.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I

Распространение сосны в горных системах Советского Союза 6

Глава II

Природные условия и почвы сосновых лесов Урала 13

Климат 13

Геология и рельеф 16

Почвообразующие породы 18

Почвы сосновых лесов 24

Глава III

Химический состав хвои сосны 52

Сравнительная характеристика химического состава хвои сосны и других хвойных пород 60

Влияние почвенных условий на зольный состав хвои 64

Глава IV

Химический состав растений-доминантов напочвенного покрова сосновых лесов Урала 72

Химический состав зеленых мхов 73

Химический состав листьев брусники 83

Химический состав листьев черники 91

Сравнительная характеристика химического состава основных доминантов напочвенного покрова 97

Глава V

Биомасса и химический состав напочвенного покрова 100

Биомасса напочвенного покрова 100

Содержание зольных элементов и азота в фитомассе напочвенного покрова . 108

Глава VI

Запасы и химический состав подстилок сосновых лесов Урала 115

Запасы подстилок сосновых лесов Урала 119

Содержание и запасы зольных элементов в подстилках 126

Особенности формирования органического вещества лесных подстилок . . . 138

Глава VII

Некоторые особенности биологического круговорота веществ в сосновых лесах 143

Литература 158

Вера Павловна Фирсова
Татьяна Сергеевна Павлова

ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА ВЕЩЕСТВ В ГОРНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ

Утверждено к печати
Институтом экологии растений и животных
УНЦ АН СССР

Редактор издательства *А.А. Фролова*
Художник *Н.Н. Якубовская*
Художественный редактор *М.В. Версоцкая*
Технический редактор *Г.П. Каренина*
Корректор *О.А. Пахомова*

ИБ № 27158

Подписано к печати 24.10.83. Т–16484
Формат 60 X 90 1/16. Бумага офсетная № 1
Печать офсетная. Усл.печ.л. 10,5. Усл.кр.-отт. 10,6
Уч.-изд.л. 12,2. Тираж 600 экз. Тип. зак. 812.
Цена 1р. 80к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7
Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12