

© Подоль С.Р., Попова З.И., 2015

УДК: 556. 531. 4. (282. 256. 1)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОСНОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ МЕЩЕРСКОГО ПОЛЕСЬЯ

С.Р. Подоль, З.И. Попова

ФГБОУ ВПО РГУ им. С.А. Есенина, г. Рязань

Определен химический состав основных лесобразующих пород, подлеска и напочвенного покрова сосновых фитоценозов Мещеры. Эти территории относятся к Национальному парку и представляют собой образец природного геохимического «фона», поскольку достаточно удалены от источников промышленных загрязнений. Вместе с тем, биогеоценозы сосновых лесов сформировались на минералогически бедном субстрате, при резко выраженном дефиците питательных элементов. В этих условиях большую роль играет положение фитоценозов в микрорельефе и уровень грунтовых вод. Исследованы особенности поглощения и накопления растениями кальция, магния, железа, марганца, цинка и меди. Выявлен резко выраженный дефицит кальция, магния и меди в хвойных породах при относительном накоплении растительностью железа и марганца. Установлено, что интенсивное извлечение химических элементов из почвы и быстрое обращение в системе фитоценоз-почва обеспечивает устойчивое функционирование биогеоценозов сосновых лесов при изначально низкой обеспеченности элементами питания.

Ключевые слова: биогеоценоз, сосновые леса, макроэлементы, микроэлементы, химический состав, биологическое поглощение, экология.

Химический состав растений в естественных условиях детерминирован комплексом факторов. Ведущими среди них являются экологические условия функционирования фитоценозов и видовые особенности растений. Экологические условия включают в себя, прежде всего, особенности почвообразующих пород и почв, а также уровень грунтовых вод. Наиболее распространенные почвообразующие породы в пределах Мещеры – водно-ледниковые и древнеаллювиальные пески и супеси с подавляющим господством кварца (98-99%) в минералогическом составе. На этих четвертичных отложениях сформировались почвы подзолистого и болотного типов. Почвенному покрову свойственна пестрота структуры, определяемая разнообразием микрорельефа, почвообразующих пород, осо-

бенностями режима увлажнения, характером растительности. Почвы характеризуются неблагоприятными водно-физическими свойствами, что выражается в малой водоудерживающей способности. В условиях промывного режима это способствует интенсивному выщелачиванию из почвенного профиля кальция, магния и других элементов при относительном накоплении оксида кремния и оксидов железа. Дополнительным источником питания растений служат продукты разложения опада и лесные подстилки. Количество химических элементов, содержащихся в фитомассе, позволяет оценить условия питания растений и особенности протекания почвообразующего процесса [1].

В верхних частях песчаных гряд и холмов, лишенных в корнеобитаемой толще суглинистых слоев, обогащенных

элементами питания, формируются сосняки лишайниковые. Для них характерно отсутствие подлеска из лиственных пород, напочвенный покров представлен лишайниками, причем покрытие ими составляет не более 60% поверхности почвы. Почвенный профиль маломощный, слабо дифференцирован, гумусовый горизонт мало выражен, что свидетельствует о невысоких темпах гумификации и накопления органического вещества. Основные элементы питания растений – кальций и магний – содержатся в почве в следовых количествах. Поэтому главный источник поступления питательных веществ в растения – минерализация растительного опада. Установлено, что основное количество химических элементов поступает с опадом древостоя. Причем, 80% зольных компонентов высвобождается при минерализации опадающей хвои, 7% – ствольной древесины [2].

Развитие биогеоценоза сопровождается образованием мохового покрова и увеличением мощности почвенного профиля. Зеленые мхи, вследствие более высокой зольности, содержат больше химических элементов по сравнению с лишайниками. Однако участие мохового покрова в снабжении питательными веществами древесных растений ограничено по причине практически полной неминерализуемости мхов [2].

В нижних частях склонов высоких холмов и гряд, либо на незначительно приподнятых выровненных поверхностях формируются сосняки черничные и сосняки брусничные. Это наиболее продуктивные сосновые и елово-сосновые ценозы (II класс бонитета, высокая полнота древостоя) [3]. Грунтовые воды здесь располагаются близко к поверхности почвы и служат дополнительным источником питательных элементов. Потенциальная минералогическая бедность почвообразующих пород компенсируется благоприятными условиями увлажнения и аэрации. Разложение растительного опада сравнительно медленное. Элементы питания, находящиеся в опаде, частично вовлекаются в биологический круговорот,

частично выщелачиваются в нижние горизонты почвы, а значительное их количество остается в полуразложившихся растительных остатках, формирующих лесную подстилку [4].

Наиболее пониженные участки междуречий и долин, как правило, избыточно увлажнены, в результате чего формируется торфяной слой. В этих условиях развиваются наименее продуктивные сфагновые сосняки (IV класс бонитета) [3]. Экологические факторы неблагоприятны для роста сосны, поскольку корневые системы могут осваивать только поверхностный слой и изолированы от минеральной толщи.

Материалы и методы

Нами исследовались зольность и содержание химических элементов в репродуктивных органах лесообразующих пород, подлеска и напочвенного покрова описанных выше сосновых биогеоценозах Мещеры. Район исследования охватывал значительные территории Рязанской и Владимирской Мещеры. В процессе полевых работ выявлялись главные типы сосновых фитоценозов, производился отбор образцов растительности: хвоя сосны, листья березы, дуба, черники, брусники, зеленые и сфагновые мхи, лишайник. Полевые исследования проводились в июне-июле 2014 г. Было собрано более 100 растительных образцов. Они обрабатывались в лабораторных условиях с применением различных методов: атомно-абсорбционного, колориметрического, объемных, в соответствии с общепринятыми методиками. В золе растений определяли содержание кальция, магния, железа, марганца, цинка и меди на атомно-абсорбционном спектрометре МГА – 915. Анализы проводились на базе лаборатории химического анализа РГУ имени С.А.Есенина (лаборатория аккредитована в системе аккредитации аналитических лабораторий №РОСС RU.0001.513813).

Результаты и их обсуждение

Важным количественным показателем содержания питательных веществ в растениях считается их зольность, т.е. количество минеральных элементов. Сре-

Таблица 1

**Содержание кальция, магния, железа в золе растений
сосновых фитоценозов Мецеры**

Фитоценоз, виды растений, органы	Зольность, %	Кальций	Магний	Железо
		% от массы абсолютно-сухого вещества		
Сосняк-лишайниковый				
сосна (хвоя)	1,9	0,36	0,07	0,010
лишайник	1,1	0,03	0,04	0,007
Сосняк зеленомошный				
сосна (хвоя)	1,7	0,25	0,22	0,02
береза (листья)	3,0	0,46	0,18	0,02
брусника (листья)	2,2	0,51	0,12	0,01
зеленые мхи	5,9	0,36	0,24	0,07
Сосняк черничный				
сосна (хвоя)	2,4	0,18	0,07	0,04
сосна (ветви)	1,7	0,3	0,13	0,08
береза (листья)	4,2	0,65	0,42	0,020
береза (ветви)	1,4	0,65	0,10	0,009
дуб (листья)	3,4	1,2	0,2	0,01
черника (листья)	3,8	0,32	0,44	0,05
зеленые мхи	4,7	0,89	0,39	0,07
Сосняк сфагновый				
сосна (хвоя)	2,2	0,2	0,19	0,02
береза (листья)	2,6	0,46	0,41	0,02
сфагновые мхи	3,1	0,15	0,10	0,06

Таблица 2

**Содержание марганца, цинка, меди в золе растений
сосновых фитоценозов Мецеры**

Фитоценоз, виды растений, органы	Марганец	Цинк	Медь
	% от массы абсолютно-сухого вещества		
Сосняк-лишайниковый			
сосна (хвоя)	0,02	0,002	0,0002
лишайник	0,006	0,002	0,0002
Сосняк зеленомошный			
сосна (хвоя)	0,03	0,002	0,0002
береза (листья)	0,12	0,0043	0,0004
брусника (листья)	0,1	0,0028	0,0002
зеленые мхи	0,01	0,02	0,0003
Сосняк черничный			
сосна (хвоя)	0,01	0,002	0,0002
сосна (ветви)	0,02	0,019	0,004
береза (листья)	0,11	0,0037	0,0004
береза (ветви)	0,04	0,04	0,0003
черника (листья)	0,04	0,001	0,0003
зеленые мхи	0,02	0,002	0,0006
Сосняк сфагновый			
сосна (хвоя)	0,04	0,001	0,0003
береза (листья)	0,05	0,002	0,0005
сфагновые мхи	0,006	0,001	0,0005

ди изученных видов наименьшие показатели зольности у лишайника (1,1 – 1,8%) и хвои сосны (1,9-2,4%). Это подтверждает их олиготрофность и объясняет причину того, что лишайниковые сосняки являются начальной стадией освоения песчаных пространств растительностью. Максимальная зольность характерна для лиственных пород (3,6%- 4,5%) и зеленых мхов (5,0%-5,6%).

В распределении макроэлементов выявлены следующие закономерности. Все растения характеризуются малым содержанием кальция и магния. Это вполне согласуется с обедненностью ими почвообразующих пород и почв. Относительно высокими концентрациями кальция и магния отличаются листья дуба, березы и кустарничков. Сфагновые мхи и хвоя сосны бедны этими элементами. Их исключительно низкие концентрации обнаружены в лишайниках. Отметим, что разница в содержании кальция и магния в растениях невелика, как правило, кальция больше в 1,1-1,5 раз. Ряд накопления кальция и магния растениями выглядит следующим образом: листья дуба > листья березы > листья черники > мхи зеленые > хвоя сосны > мхи сфагновые > лишайники.

Основные аккумуляторы железа среди исследованных растений – зеленые и сфагновые мхи, в которых железо составляет в среднем 0,08% от массы абсолютно-сухого вещества. Большое количество железа придает золе этих растений рыжий цвет. Далее в ряду накопления железа листья наземных кустарничков и подлеска, хвоя сосны. Следует отметить, что в хвойных породах, в отличие от лиственных, основная часть железа сосредоточена в ветках, а не в листьях.

Среди исследованных микроэлементов марганец для полесских ландшафтов – типоморфный. Поэтому растительность Мещеры характеризуется высоким его содержанием. Причем, это наблюдается и в других полесьях [5]. Несмотря на то, что марганец микроэлемент, его концентрация во всех растительных видах превышает концентрацию железа. Ряд накопления марганца растительностью имеет

следующий вид: листья черники > мхи > листья березы > хвоя сосны > лишайники. Средняя концентрация марганца в хвое сосны варьирует от 0,01 % до 0,02% (на абсолютно-сухое вещество), в листьях напочвенных кустарничков – от 0,04% до 0,1% (на абсолютно-сухое вещество), в лишайниках составляет всего тысячные доли процента от массы абсолютно-сухого вещества. Установлено, что на вершинах песчаных гряд, где почвы наименее обеспечены микроэлементами, растительность обладает большей активностью поглощения марганца по сравнению с другими местообитаниями.

Цинк и медь поглощаются растительностью сосновых лесов Мещеры на порядок менее интенсивно по сравнению с марганцем. Наибольшим накоплением цинка отличаются листья березы (в среднем 0,0032%), далее в порядке убывания – листья черники и хвои сосны (0,002%), мхи зеленые (0,0017%), мхи сфагновые (0,0014%) и лишайники (0,0012%). В отношении аккумуляции меди выделяются сфагновые мхи (0,00053 %). Относительно высокое содержание меди характерно для листьев березы (0,00042%) и зеленых мхов (0,00038%). Во всех остальных видах содержание элемента не превышает 0,0002%.

Таким образом, распределение исследованных химических элементов в растительности сосновых биогеоценозов Мещеры характеризуется несколькими основными закономерностями. Так, всем изученным видам растений свойственна одинаковая последовательность накопления: Ca > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu. Кроме того, проявляется геохимическая специализация растений. Она выражается в накоплении щелочно-земельных элементов, марганца и цинка преимущественно в лиственных породах, а железа и меди – в напочвенном покрове. Это детерминирует неодинаковую активность вовлечения тех или иных элементов в биологический круговорот. Самым низким содержанием зольных элементов отличаются лишайники.

Концентрация в золе растений химических элементов не всегда дает полное представление об интенсивности их поглощения из почвы. Дополнительным показателем

этого процесса является коэффициент биологического поглощения. Он определяется как отношение концентрации элемента в золе (мг/кг) к его валовым значениям в почвообразующих породах (мг/кг).

Среди изученных элементов питания наиболее интенсивно растениями поглощаются кальций, магний и марганец. Коэффициенты биологического поглощения зависят от систематического положения и имеют наибольшие значения у березы и черники ($n \times 100$), а наименьшие – у зеленых мхов и лишайников ($n \times 10$). Листья березы и черники активнее извлекают из субстрата марганец и кальций, а хвоя сосны – марганец и магний.

Несмотря на низкие концентрации подвижных форм меди и цинка в почвообразующих породах, интенсивность биологического поглощения этих элементов высокая. В частности, коэффициенты биологического поглощения цинка и меди находятся на уровне $n \times 10$. Благодаря активному поглощению меди, ее дефицит в почвах не порождает признаков хлороза листьев.

Следовательно, в фитоценозах, развивающихся на обедненных почвах, у растений вырабатываются механизмы, обеспечивающие интенсивное извлечение из почвы необходимых элементов питания. При этом большинство питательных веществ, высвобождающихся в процессе минерализации лесного опада, вновь вовлекается в биологический круговорот, что препятствует их выносу из ландшафтов. Преобладание потребления элементов питания над их эффективным возвра-

том в сочетании с минералогической бедностью почв свидетельствуют о напряженном режиме питания растений в описанных условиях. Вместе с тем, биогеоценозы сосновых лесов характеризуются значительной степенью замкнутости круговорота веществ. Это свидетельствует о большой экономичности использования ресурсов на единицу производимой органической продукции.

Выводы

Таким образом, интенсивное извлечение химических элементов из почвы и быстрое обращение в системе фитоценоз-почва обеспечивает устойчивое функционирование биогеоценозов сосновых лесов Мещерского полесья при изначально низкой их обеспеченности элементами питания.

Литература

1. Крамер П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 462 с.
2. Мякушко В.К. Экология сосновых лесов / В.К. Мякушко, Ф.В. Вольвач, П.Г. Плюта. – Киев: Урожай, 1987. – 246 с.
3. Орлов А.Я. Почвенная экология сосны / А.Я. Орлов, С.П. Кошельков. – М.: Наука, 1971. – 323 с.
4. Орлов А.Я. Почвенно-экологические основы лесоводства в южной тайге / А.Я. Орлов. – М.: Наука, 1974. – 231 с.
5. Петухова Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР / Н.Н. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1987. – 229 с.

**DISTRIBUTION AND DYNAMICS OF CHEMICAL ELEMENTS
IN PINE ECOSYSTEMS MESHCHERSKY WOODLAND**

S.R. Podol, Z.I. Popova

Determined the chemical composition of the main tree species, understory and ground cover of pine plant communities Meshchera. These areas belong to the National Park and area natural geochemical sample "background", because quite removed from sources of industrial pollution. However, the pine forest biogeocenoses formed on mineralogically a poor substrate, under conditions of pronounced deficit of nutrients. In these conditions, a large role is played by the position of phytocenoses in the microrelief and the groundwater level. The features of the absorption and accumulation by plants of calcium, magnesium, iron, manganese, zinc and copper. Revealed a pronounced deficiency of calcium, magnesium and copper in coniferous species with a relative accumulation of vegetation iron and manganese. It is established that intensive extraction of chemical elements from the soil and rapid treatment in the plant-soil system ensures the stable operation of biogeocenoses pine forests with initially low availability of nutrients.

Keywords: *ecosystem, pine forests, macronutrients, trace elements, chemical composition, biological uptake, ecology.*

Подоль С.Р. – к.геогр.н., доц. кафедры физической географии и методики преподавания географии Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина.
390000, г. Рязань, ул. Свободы, д. 46.
E-mail: caleidoskop-ryazan@yandex.ru

Попова З.И. – к.ф.н., доц. кафедры химии Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина.
390000, г. Рязань, ул. Свободы, д. 46.
E-mail: z.popova@rsu.edu.ru