

УДК 581.13:581.14

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-46-53

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ХВОЙНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ

О.В. Чернышенко, С.Б. Васильев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
tchernychenko@mgul.ac.ru

Дана оценка минерального питания древесных растений, используемых для создания лесных культур при восстановлении лесного участка Егорьевского месторождения фосфоритов: сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), ели европейской (*Picea abies*), сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) в возрасте 6...12 лет. Рассмотрены поглощение питательных веществ этими растениями, дальнейшее распределение и реутилизация в органах растений. Отмечены небольшие концентрации азота, фосфора, калия и других биогенных элементов в почвенном растворе. Показано, что преобладание вечнозеленых деревьев на неплодородных почвах связано с их сниженной потребностью в элементах питания. Сделан вывод о целесообразности выращивания исследуемых культур на техногенных ландшафтах. Установлены различия в способности поглощать и накапливать необходимые элементы (азот, серу, фосфор) исследуемыми видами древесных растений. Определена потребность в сбалансированном питании для видов интродуцентов, произрастающих в экстремальных условиях. Отмечена их способность эффективно поглощать и использовать минеральные элементы по сравнению с местными видами. В целях разработки рациональных практических мероприятий по повышению устойчивости к неблагоприятным внешним воздействиям и увеличению продуктивности лесных культур необходимо дальнейшее изучение минерального питания древесных растений.

Ключевые слова: лесные культуры, минеральное питание, хвойные деревья, продуктивность

Ссылка для цитирования: Чернышенко О.В., Васильев С.Б. Особенности минерального питания хвойных древесных растений на промышленных отвалах Егорьевского месторождения фосфоритов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 46–53. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-46-53

Для выявления закономерностей роста хвойных древесных растений в экстремальных условиях, особенностей их развития и возможностей адаптации крайне необходимо полное изучение путей поступления питательных элементов в растения и особенностей транспортировки по тканям, последующего распределения и реутилизации в органах.

Макроэлементы обычно содержатся в почвенных растворах в низких концентрациях — 10^{-6} ... 10^{-8} М. Таких концентраций достаточно для удовлетворения потребностей растений в минеральных веществах. Корневые волоски способны увеличивать площадь поглощения микроэлементов из почвы [1]. Питательные вещества перемещаются из почвенных растворов к корням в результате диффузии, в зависимости от связей элементов с частицами почвы. В частности, фосфаты хорошо связываются с почвой, а нитраты — плохо. Очень подвижные элементы (например, магний) отмечаются быстротой движения к корневой поверхности в результате диффузии с помощью потока воды и часто накапливаются возле корней, когда снабжение элементом превышает необходимое поглощаемое количество.

Концентрации азота, фосфора и калия часто так малы в почвенном растворе, что массивный поток воды обеспечивает незначительное количество потребностей растений в них [2].

Поглощение питательных веществ растениями включает в себя движение ионов из почвы к поверхности корней посредством диффузии, накопление ионов в клетках корней, радиальное движение ионов от поверхности корней в ксилему, перемещение ионов из корней в побеги. Неопробковавшиеся корни древесных растений составляют небольшую часть поверхности корня и не поглощают все необходимые ионы и воду, поэтому важно, что поглощение часто осуществляется через опробковавшиеся корни [3]. Количество и виды ионов, поглощаемых растениями, зависят от специфики вида и генотипа растения, наличия микоризы, от влияния условий окружающей среды, таких, как плодородие и влажность почвы, метаболизм корней.

Виды древесных растений характеризуются большими различиями по способности поглощать и использовать минеральные питательные вещества. В частности, широколиственные деревья поглощают больше питательных веществ, чем хвойные [4].

Поэтому вечнозеленые древесные растения преобладают на неплодородных почвах и неровностях рельефа, а широколиственные древесные растения произрастают на соседних, более плодородных почвах [5]. Деревья тополя (*Populus nigra*) возрастом 16 лет содержат азот, фосфор, калий, кальций и магний в 2 раза больше чем южные

сосны такого же возраста [6]. Содержание золы у цветущего кизила обыкновенного, дуба белого и ликвидамбара смолоносного примерно в 2 раза больше (7,0...7,2 %), чем у ладанной и виргинской сосен (3,0...3,5 %) на одном и том же участке произрастания [7]. Многие авторы отмечают, что в различных клонах одного вида древесных растений наблюдаются отличия в показателях роста. Накопление азота, фосфора, натрия, магния и бора было различным у 45 деревьев сосны обыкновенной с одного местопроизрастания. Однако, по мнению Боуэна [8], ограничивающим фактором для поглощения ионов из почвы является не способность растений к поглощению, а перенос ионов через почву. Р.Е. Годдард и С.А. Холлис исследовали генетическую основу питания лесных деревьев минеральными веществами [9].

Грибы-микоризообразователи имеют очень важное значение для увеличения поглощения минеральных веществ из почвы [10]. П. Крамер [11] показал, что корни сосен с микоризами накапливают наибольшее количество радиоактивного фосфора. Грибы-микоризы переносят фосфор, азот, кальций, натрий из субстрата в корни деревьев [12]. Исследователи отмечают [13], что объем почвы, занятой корнем с микоризами может в 10 раз превышать объем, занимаемый корнем без микоризы. Использование деревьями микоризы влияет не только на рост отдельных деревьев, но и на структуру насаждений и экосистемы в целом [14]:

– создание более благоприятных условий для деревьев в борьбе за питательные вещества по сравнению с растениями напочвенного покрова;

– уменьшение борьбы за существование между растениями и повышение производительности насаждений, состоящих из большого количества видов (особенно на неплодородных землях);

– усиление перераспределения питательных веществ между растениями, необходимых для роста более высоких деревьев.

Количество поглощенных веществ растением зависит от плодородия почвы. Поступление питательных веществ из почвы оказывает влияние не только на общее увеличение сухого веса растений, но и на распределение сухого вещества в растениях. При этом высокий уровень доступных питательных веществ связан с более значительным распределением их между побегами, чем между корнями. Например, рост корней составил 23 % всего ежегодного производства биомассы 40-летней дугласии на участке земли, богатым минеральными веществами, и 53 % — на неплодородном участке [15]. Влажность почвы, например, очень низкая или очень высокая, тормозит рост корней. Недостаток воды влияет на сокращение поверхности корней, находящихся в контакте с

почвенными водами, а поглощение питательных веществ в сухих почвах прекращается. Почвенная засуха приводит к дегидратации листьев, закрытию устьиц и ограниченному перемещению воды по растению. Устьица начинают закрываться, когда уменьшается тургор замыкающих клеток, даже задолго до того, как завянут листья [16].

Недостаток минеральных питательных веществ в почве встречается достаточно часто, что ограничивает рост деревьев. Элементы, необходимые для роста, включают в себя макроэлементы (азот, фосфор, кальций, магний и серу) и микроэлементы (железо, марганец, цинк, медь, бор, молибден, никель и хлор). Минеральные питательные вещества имеют важное значение как компоненты растительных тканей, катализаторов, осмотических регуляторов, компонентов буферных систем и регуляторов проницаемости мембран. Недостаток минеральных веществ замедляет вегетативный и репродуктивный рост, вызывает изменения физиологических процессов. Видимые симптомы дефицита минеральных веществ включают в себя хлороз, некроз листьев, розеткообразование, поражения покровных тканей и обильное образование смолы. Количество минеральных питательных веществ у деревьев различается в зависимости от вида и генотипа, почвенных условий, времени года, и они не будут одинаковыми в разных органах одного и того же растения.

В лесах оптимальное количество питательных веществ в почве поддерживается за счет круговорота веществ. В умеренных и бореальных лесах большинство питательных веществ содержится в почве и в лесной подстилке. Количество минеральных питательных веществ в почве увеличивается в результате выпадения атмосферных осадков, выветривания, разложения лесной подстилки, а также выделений корней растений.

Цель работы

Целью настоящей работы является оценка минерального питания лесных культур для определения эффективности их применения при восстановлении лесного участка после техногенного воздействия на месторождении фосфоритов.

Материалы и методы

В условиях Нечерноземной зоны РФ расположены и эксплуатируются четыре крупных фосфоритных месторождения. В Московской обл. находится одно из самых крупных — Егорьевское месторождение фосфоритов (ЕМФ). На его техногенных отвалах образовавшихся в процессе добычи руды, сформировались преимущественно дерново-подзолистые, супесчаные и песчаные почвы. Основную часть участка рекультивации данного техногенного ландшафта занимают

лесные культуры [17]. При посадке лесных культур был использован посадочный материал хвойных саженцев с открытой корневой системой и применены бактериальные препараты в виде водных растворов. Обработку корней саженцев осуществляли путем их обмакивания в торфо-глиняной болтушке с добавлением рабочего раствора бактериального препарата. В ходе эксперимента были высажены четыре ряда: 1-й ряд — контрольный, без использования микробиологических удобрений; 2-й ряд — с использованием азотовита; 3-й ряд — с использованием фосфатовита; 4-й ряд — с использованием азотовита и фосфатовита в комплексе. Исследования проводились по 902 деревьям. Водный раствор препарата был приготовлен из расчета 50 мл препарата на 10 л воды. Из смеси препаратов — азотовита и фосфатовита приготовили рабочий раствор из расчета 50 мл каждого препарата на 10 л воды. В качестве объектов исследования выбрали такие виды как: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), ель европейская (*Picea abies*), сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica*) и лиственница сибирская (*Larix sibirica*) в возрасте деревьев 6...12 лет. Опытные посадки закладывали в условиях выровненного агрофона, единственным отличием между вариантами служило применение различных бактериальных препаратов. Посадку осуществляли по схеме и с густотой, принятой в лесном хозяйстве. У всех растений были измерены диаметр корневой шейки и высота надземной части. У отдельных саженцев дополнительно замеряли размеры корневой системы, их дополнительно поместили клейкой лентой.

В целях определения устойчивости растений к новым условиям произрастания и их продуктивности проанализировали использование ими макроэлементов из почвы и интенсивность накопления питательных веществ в органах. Для этого 4 раза в течение вегетации 2017 г. с мая по сентябрь брали образцы органов растений с 20 деревьев каждого вида и каждого варианта с южной стороны кроны, с каждого дерева в трехкратной повторности. По полученным экспериментальным данным можно сделать вывод о целесообразности выращивания исследуемых культур на техногенных ландшафтах. Все лабораторные исследования проводились в лаборатории физиологии растений МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал). Определение содержания азота, серы и фосфора проводили микрометодом Кьельдаля по Плешкову [18].

Результаты и обсуждение

Минеральное питание сосны обыкновенной. Потребление макроэлементов у сосны обыкновенной резко возрастает после 15 лет, к 45 годам дерево достигает максимума поглощения,

что соответствует интенсивному приросту фитомассы, затем скорость поглощения снижается [19]. С возрастом дерева поглощение и аккумуляция им питательных веществ уменьшается, но масса древесины увеличивается. В этот период лучевая паренхима перестает выполнять аккумулятивные функции, поскольку цитоплазма деградирует. Содержание азота, фосфора и калия в хвое существенно снижается по мере ее старения, а количество магния и кальция возрастает [20]. Исследователи отмечают, что поглощенный из почвы азот поступает в хвою [21]. У возрастных деревьев большая часть поглощенного азота также поступает в хвою (36 %), а остальная часть распределяется между стволом с ветвями (33 %) и корнями (32 %). При этом следует учитывать, что ствол и ветви по биомассе составляют 76 % по сравнению с другими органами, на хвою приходится всего 4 %.

В хвое сосны экспериментальных деревьев нами было проанализировано содержание азота, серы и фосфора. При этом сравнивали хвою 1-го и 2-го года жизни, а также три варианта с использованием различных удобрений при посадке лесных культур и контрольного ряда, без применения удобрений. В течение вегетации достоверных отличий по содержанию азота, серы и фосфора в хвое 1-го и 2-го года жизни растений на всех опытных вариантах по сравнению с контрольными не наблюдалось (рис. 1). Возможно, это связано с одинаковой метаболической активностью хвои 1-го года жизни во всех вариантах опыта. Достоверные отличия по содержанию азота и серы были зарегистрированы в хвое 2-го года жизни, при этом следует отметить варианты с фосфатовитом и комплексные удобрения азотовита и фосфатовита. При этом на всех вариантах по применению удобрений наблюдалось увеличение высоты и диаметра саженцев в 1,7...1,8 раз по сравнению с контрольным вариантом.

По соотношению N/P были получены коэффициенты 6,0–7,2. Оптимальные для сосны соотношения азота к фосфору 11–13, однако полученные нами данные достоверно ниже. Динамика содержания макроэлементов в хвое показала, что максимальное накопление зарегистрировано в июне и июле, что связано с активностью роста деревьев в это время.

Минимальное содержание макроэлементов в августе и сентябре можно объяснить реутилизацией этих элементов в конце вегетационного периода. Несмотря на низкие показатели поглощения макроэлементов за вегетацию, по соотношению N/S/P можно говорить о сбалансированном минеральном питании деревьев сосны обыкновенной в данных условиях произрастания. Исследователи отмечают [22], что хороший рост деревьев сосны возможен

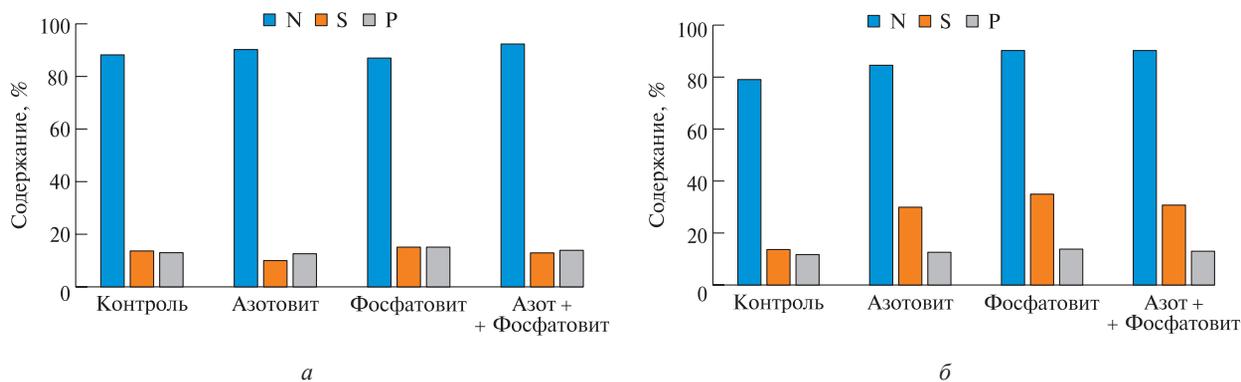


Рис. 1. Содержание макроэлементов в хвое сосны обыкновенной в июне (%): а — хвоя 1-го года; б — хвоя 2-го года

Fig. 1. The content of macronutrients in pine needles in June (%): а — needles of the 1st year; б — needles of the 2nd year

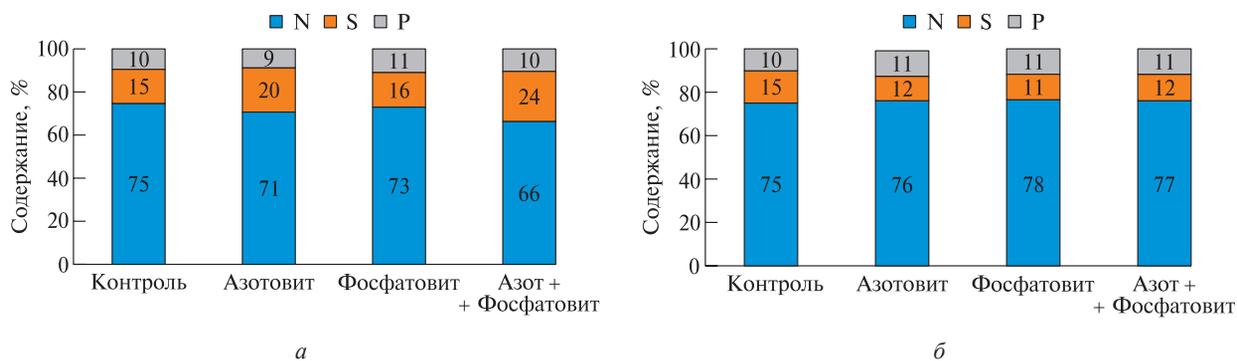


Рис. 2. Соотношение макроэлементов в хвое ели европейской в июне: а — 1-го года жизни; б — 2-го года жизни

Fig. 2. The ratio of macronutrients in needles of European spruce in June: а — 1 year of life; б — 2nd year of life

при широком диапазоне содержания элементов в хвое, %: азот 1,2...1,3; фосфор 0,15...0,70; калий 0,56...1,70. Такие отличия объясняются зависимостью содержания питательных элементов в хвое от плодородия почв, физиологического возраста хвои, положения в кроне, сомкнутости кроны, фенофазы, интенсивности и направленности роста, метеопараметров вегетации и др.

Минеральное питание ели европейской. Ель европейская — быстрорастущая порода, однако в течение первых 10 лет жизни она растет медленно. Ель предпочитает супесчаные свежие почвы, к тому же более кислые. Содержание макроэлементов в хвое ели определяли дважды за вегетацию — в июне и сентябре. Биохимический анализ выявил пониженное содержание азота, серы и фосфора по сравнению с литературными данными [21]. Достоверность различий по четырем вариантам эксперимента и по годам жизни хвои зарегистрировано не было. В сентябре наблюдалось снижение содержания азота в хвое 1-го года в 1,4 раза, серы — в 1,6, фосфора — в 3,5 раза. Для хвои 2-го года зарегистрировано аналогичное снижение содержания элементов, но в большей степени, в

частности, количество азота уменьшилось в 6 раз, фосфора — в 4 раза, а содержание серы при этом не изменилось. Такие данные могут свидетельствовать о прекращении всех ростовых процессов в сентябре и косвенно подтверждают, что вегетация лета 2017 г. была достаточно короткая, низкие температуры лета и повышенное количество осадков могли повлиять на содержание основных элементов питания в древесных растениях.

Древесные растения используют минеральные вещества экономно, некоторые элементы питания даже в течение всей жизни. Осенью основные элементы питания оттекают в ствол, где сохраняются до нового периода роста — следующей весны. Соединения азота и фосфора очень подвижны. Сера занимает промежуточное место по степени реутилизации.

Питательные элементы передвигаются из хвои по флоэме до тканей стебля. Элементы питания совершают круговорот по растению. Соотношение азота и фосфора у ели также минимально, если сравнивать природные условия произрастания. Так, в начале вегетации этот показатель находился в диапазоне 6,6...8,3, в сентябре он снизился до 5...6.

Как видно из рис. 2, соотношение азота, серы и фосфора достаточно сбалансированное в хвое 1-го и 2-го года жизни. Содержание серы достоверно больше в хвое 1-го года, что связано с процессами интенсивного роста хвои этого возраста в июне. Она аккумулирует серу из других органов и хвои 2-го года жизни для синтеза белков, ферментов, биологически активных веществ. Разли-

чия по росту во всех вариантах незначительные, возможно, это связано с особенностью роста ели в указанный период жизни.

Минеральное питание лиственницы сибирской. Экологическая пластичность и адаптационные способности к неблагоприятным факторам окружающей среды этого вида древесного растения подтверждается широким ареалом его распространения. Лиственница достаточно засухоустойчива, характеризуется средней требовательностью к влаге и плодородию почвы. Наибольшая продуктивность лиственницы сибирской характерна для плодородных хорошо дренированных свежих суглинистых и супесчаных карбонатных почвах.

Анализ хвои показал, что содержание (в процентах) азота на контрольном варианте и участке с внесением азотовита отличалось в июне и в июле, хотя достоверных различий по росту в конце вегетации в этих вариантах не наблюдалось. В августе и сентябре эти различия не наблюдались (рис. 3). Резкое уменьшение азота в хвое в августе и сентябре можно объяснить преждевременной перестройкой к ранней осени, поскольку вегетация 2017 г. была аномально холодной при повышенном количестве осадков. Потребность в азоте коррелирует со скоростью роста. Если большая часть годового прироста наблюдается в начале вегетационного периода, то дерево использует в это время много поглощенного азота. Большая часть азота поступает из запасов дерева, поскольку лесная почва бедна доступными формами азота. Азот поступает в растение медленно, однако он мобилен, быстро передвигается в растущие ткани.

Количество имеющегося азота варьирует в разных тканях, а с возрастом — по стадиям роста и временам года. Большая часть азота находится в протоплазме в связанном виде, в составе физиологически активных веществ. Поэтому высокие концентрации азота обнаруживаются в хвое. Если сравнивать соотношение макроэлементов в хвое, то можно отметить способность корневой системы лиственницы сбалансированно извлекать элементы питания даже на субстратах с пониженным содержанием элементов. По отношению азота к фосфору у лиственницы был диапазон 6,6...8,3 в июне и 7,1...7,7 в июле, что свидетельствует о плохой обеспеченности в основных элементах питания. Однако доля трех элементов — азота, серы и фосфора составляет примерно равное количество, а по сравнению с местными видами достоверно возрастает доля серы.

Минеральное питание сосны сибирской кедровой. Вид малотребователен к теплу, морозоустойчив, эдафическая амплитуда довольно широка. Сосна сибирская кедровая может

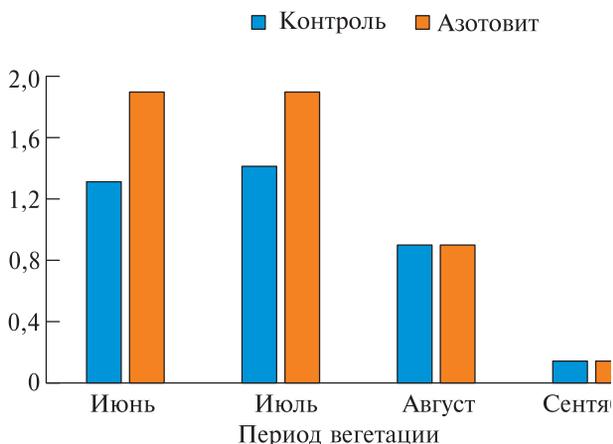


Рис. 3. Содержание азота (%) в хвое лиственницы сибирской в течение вегетации на двух участках

Fig. 3. The nitrogen content (%) in the needles of Siberian larch during the growing season in two areas

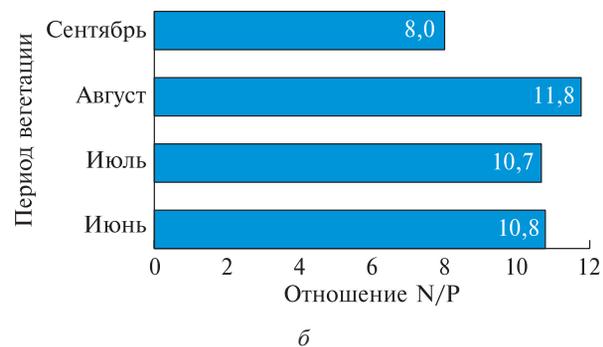
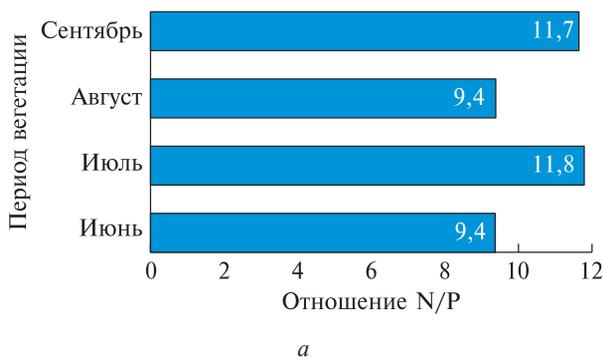


Рис. 4. Соотношение азота к фосфору (N/P) в хвое сосны сибирской кедровой в течение вегетации: а — 1-го года; б — 2-го года

Fig. 4. The ratio of nitrogen to phosphorus (N/P) in the needles of Siberian stone pine during the growing season: а — 1 year; б — 2nd year

произрастать на каменистых почвах в горах, на заболоченной почве, в Восточной Сибири растет на вечной мерзлоте. К сожалению, экспериментальные участки по использованию различных минеральных удобрений при посадке лесных культур не сохранились. Мы исследовали только один вариант — контрольный. Для кедра характерно сбалансированное содержание макроэлементов, а именно азота, серы и фосфора (рис. 4). Для хвой 1-го года зарегистрировано оптимальное соотношение в июле и сентябре, что, возможно, связано с этапами роста дерева. Для хвой 2-го года оптимальное соотношение отмечается в июле и августе, что соответствует срокам интенсивного фотосинтеза. В это время хвоя 2-го года поставляет ассимилянты для роста всего дерева.

По соотношению азота, серы и фосфора максимальные показатели поглощения азота были зарегистрированы в июле, что соответствует активному росту в этот период. В течение вегетации эти соотношения изменялись — первые месяцы в связи с активным ростом и синтезом большого количества веществ в хвое, в сентябре, в конце вегетации, полученные данные можно объяснить быстрым оттоком азота в ствол и складированием его (реутилизацией). Соотношение фосфора было минимальным во все сроки вегетации.

Выводы

Хвойные растения приспособлены к различным условиям минерального питания. Уменьшение питательных элементов в почве не всегда быстро отражается на изменениях химического состава растений. Анализ динамики поглощения и накопления макроэлементов из почвы в периоды максимального роста необходим для определения оптимального уровня минерального питания растений. Важно использовать обогащение почвы микрофлорой, способствующей поглощению макроэлементов растениями, особенно азота. При создании лесных культур на субстратах ЕМФ нужно учитывать особенности минерального питания древесных растений для установления уровня содержания элементов, необходимых для хорошего роста. Совершенствование методов диагностики дефицита элементов питания и анализ факторов, влияющих на уровень поглощения элементов корнями, способствуют успешному созданию лесных насаждений. В почвах ЕМФ распространен недостаток азота, наблюдается дефицит фосфора и калия, поэтому необходимо внесение удобрений не только один раз при посадке лесных культур. Внесение бактериальных удобрений при создании лесных культур оказывает положительное влияние на приживаемость саженцев.

Список литературы

- [1] Tinker P.B., Nye P.H. Solute Movement in the Rhizosphere // Oxford University Press, New York, 2000, 370 p.
- [2] Chapin F.S. The mineral nutrition of wild plants // *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1980, no. 11, pp. 233–260.
- [3] Sands R., Fiscus E.L., Reid C.P.P. Hydraulic properties of pine and bean roots with varying degrees of suberization, vascular differentiation, and mycorrhizal infection // *Aust. J. Plant Physiol.*, 1982, no. 9, pp. 559–569.
- [4] Ralston C.W., Prince A.B. Accumulation of dry matter and nutrients by pine and hardwood forests in the lower Piedmont of North Carolina // *Forest-Soil Relationships of North America*. Corvallis: Oregon State Univ. Press, 1965, pp. 77–94.
- [5] Monk C.D. An ecological significance of ever greenness // *Ecology*, 1966, no. 47, pp. 504–505.
- [6] Switzer G.L., Nelson L.E., Baker J.B. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients in Aigeiros poplar plantations // *Proceedings: Symposium on Eastern Cottonwood and Related Species*. Div. of Continuing Education, Louisiana State Univ., Baton Rouge, 1976, pp. 359–369.
- [7] Coile T.S. Composition of leaf litter of forest trees // *Soil. Sci.*, 1937, no. 43, pp. 349–355.
- [8] Bowen G.D. Roots as component of tree productivity // *Attributes of Trees as Crop Plants* / Eds. M.G.R. Cannell, J.E. Jackson. Huntington, England: Institute of Terrestrial Ecology, 1985, pp. 303–315.
- [9] Goddard R.E., Hollis C.A. The genetic basis of forest tree nutrition // *Nutrition of Plantation Forests*. London, New York: Academic Press, 1984, pp. 237–258.
- [10] Harley J.L., Smith S.E. Mycorrhizal Symbiosis. New York: Academic Press, 1983, 483 p.
- [11] Kramer P.J. Water Relations of Plants. New York: Academic Press, 1983, 489 p.
- [12] Melin E., Nilsson H., HacsKaylo E. Translocation of cations to seedlings of *Pinus virginiana* through mycorrhizal mycelium // *Bot. Gaz.*, 1958, no. 119, pp. 243–245.
- [13] Bowen G.D., Theodorou C. Studies on phosphorus uptake by mycorrhizas // *Proc. Int. Union. Forest Res. Organ*, 1967, v. 5, p. 116.
- [14] Perry D.A., Molina R., Amaranthus M.P. Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: Current knowledge and research needs // *Can. J. For. Res.*, 1987, no. 17, pp. 929–940.
- [15] Keyes M.R., Grier C.C. Above and below net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites // *Can. J. Res.*, 1981, no. 11, pp. 599–605.
- [16] Kozłowski T.T. Water supply and tree growth. Part I. Water deficits // *For. Abstr.*, 1982, no. 43, pp. 57–95.
- [17] Васильев С.Б. Типы лесных культур на промышленных отвалах Подмосковья (на примере Егорьевского месторождения фосфоритов): дис. канд. с.-х. наук. М.: МГУЛ, 2000. 20 с.
- [18] Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.
- [19] Судачкова Н.Е., Гирс Г.И., Прокушкин С.Г. Физиология сосны обыкновенной. Новосибирск: Наука, 1990. 248 с.
- [20] Прокушкин С.Г. Минеральное питание сосны (на холодных почвах). Новосибирск: Наука, 1982. 200 с.
- [21] Чернобровкина Н.П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосны обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 175 с.
- [22] Прокушкин С.Г., Бузыкин А.И. Минеральное питание сосняков // *Леса Среднего Приангарья*. Новосибирск: Наука, 1977. С. 192–249.

Сведения об авторах

Чернышенко Оксана Васильевна — д-р биол. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tchernychenko@mgul.ac.ru

Васильев Сергей Борисович — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), svasilyev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 04.02.2019.

Принята к публикации 24.06.2019.

MINERAL NUTRITION SPECIFICITY OF CONIFEROUS TREES ON INDUSTRIAL WASTE DISCHARGE OF EGORIEVSK PHOSPHORITE DEPOSIT

O.V. Chernyshenko, S.B. Vasilyev

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

tchernychenko@mgul.ac.ru

The estimation of mineral nutrition of woody plants used for creation of forest cultures in the Egorievsk deposit of phosphorite was made in in this article. Absorption of nutrients by plant roots, their further distribution and reutilization in organs was considered. Concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, and other nutrients are small in the soil solution. The predominance of coniferous trees on infertile soils is associated with their lower need for nutrients. Lack of nutrients in the soil is quite common, and it limits the growth of trees. Scots pine (*Pinus sylvestris*), European spruce (*Picea abies*), Siberian cedar pine (*Pinus sibirica*) and Siberian larch (*Larix sibirica*) were selected as objects of study. Trees were in age 6–12 years. Plant organ samples were taken from 20 trees of each species from May to September during the 2017 vegetation period. The obtained experimental data allow us to draw a conclusion about the feasibility of growing the studied trees on technogenic landscapes. Differences in the ability to absorb and accumulate the necessary elements (nitrogen, sulfur, phosphorus) were revealed for the studied species of woody plants. Species of introducents growing in extreme conditions, have a more balanced mineral nutrition, they have adapted to effectively absorb and use mineral elements compared to local species. The study of woody plants mineral nutrition is necessary for the development of rational practical measures to increase adverse external influences resistance and increase the productivity of forest plantations.

Keywords: forest plantations, mineral nutrition, conifer, productivity

Suggested citation: Chernyshenko O.V., Vasilyev S.B. *Osobennosti mineral'nogo pitaniya khvoynykh drevesnykh rasteniy na promyshlennykh otvalakh Egor'evskogo mestorozhdeniya fosforitov* [Mineral nutrition specificity of coniferous trees on industrial waste discharge of Egorievsk phosphorite deposit]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 46–53. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-46-53

References

- [1] Tinker P.B., Nye P.H. *Solute Movement in the Rhizosphere*. Oxford University Press, New York, 2000, 370 p.
- [2] Chapin F.S. The mineral nutrition of wild plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1980, no. 11, pp. 233–260.
- [3] Sands R., Fiscus E.L., Reid C.P.P. Hydraulic properties of pine and bean roots with varying degrees of suberization, vascular differentiation, and mycorrhizal infection. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1982, no. 9, pp. 559–569.
- [4] Ralston C.W., Prince A.B. Accumulation of dry matter and nutrients by pine and hardwood forests in the lower Piedmont of North Carolina. *Forest-Soil Relationships of North America*. Corvallis: Oregon State Univ. Press, 1965, pp. 77–94.
- [5] Monk C.D. An ecological significance of ever greenness. *Ecology*, 1966, no. 47, pp. 504–505.
- [6] Switzer G.L., Nelson L.E., Baker J.B. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients in Aigeiros poplar plantations. *Proceedings: Symposium on Eastern Cottonwood and Related Species*. Div. of Continuing Education, Louisiana State Univ., Baton Rouge, 1976, pp. 359–369.
- [7] Coile T.S. Composition of leaf litter of forest trees. *Soil. Sci.*, 1937, no. 43, pp. 349–355.
- [8] Bowen G.D. Roots as component of tree productivity. *Attributes of Trees as Crop Plants*. Eds. M.G.R. Cannell, J.E. Jackson. Huntington, England: Institute of Terrestrial Ecology, 1985, pp. 303–315.
- [9] Goddard R.E., Hollis C.A. The genetic basis of forest tree nutrition. *Nutrition of Plantation Forests*. London, New York: Academic Press, 1984, pp. 237–258.
- [10] Harley J.L., Smith S.E. *Mycorrhizal Symbiosis*. New York: Academic Press, 1983, 483 p.
- [11] Kramer P.J. *Water Relations of Plants*. New York: Academic Press, 1983, 489 p.
- [12] Melin E., Nilsson H., Hacskeylo E. Translocation of cations to seedlings of *Pinus virginiana* through mycorrhizal mycelium. *Bot. Gaz.*, 1958, no. 119, pp. 243–245.
- [13] Bowen G.D., Theodorou C. Studies on phosphorus uptake by mycorrhizas. *Proc. Int. Union. Forest Res. Organ*, 1967, v. 5, p. 116.
- [14] Perry D.A., Molina R., Amaranthus M.P. Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: Current knowledge and research needs. *Can. J. For. Res.*, 1987, no. 17, pp. 929–940.

- [15] Keyes M.R., Grier C.C. Above and below net production in 40-year-old- Douglas-fir stands on low and high productivity sites. *Can. J. Res.*, 1981, no. 11, pp. 599–605.
- [16] Kozlowski T.T. Water supply and tree growth. Part I. Water deficits. *For. Abstr.*, 1982, no. 43, pp. 57–95.
- [17] Vasil'ev S.B. *Типы лесных культур на промышленных отвалах Подмосковья (на примере Егорьевского месторождения фосфоритов)* [Types of forest crops on industrial dumps near Moscow (on the example of the Egor'yevsk phosphate deposit)]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Moscow: MGUL, 2000, 20 p.
- [18] Pleshkov B.P. *Praktikum po biokhīmii rasteniy* [Workshop on plant biochemistry]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 255 p.
- [19] Sudachkova N.E., Girs G.I., Prokushkin S.G. *Fiziologiya sosny obyknovnoy* [Physiology of Scots pine]. Novosibirsk: Science, 1990, 248 p.
- [20] Prokushkin S.G. *Mineral'noe pitanie sosny (na kholodnykh pochvakh)* [Mineral nutrition of pine (on cold soils)]. Novosibirsk: Science, 1982, 200 c.
- [21] Chernobrovkina N.P. *Ekofiziologicheskaya kharakteristika ispol'zovaniya azota sosny obyknovnoy* [Ecophysiological characteristic of the use of pine nitrogen]. St. Petersburg: Science, 2001, 175 p.
- [22] Prokushkin S.G., Buzykin A.I. *Mineral'noe pitanie sosnyakov* [Mineral nutrition of pine forests] *Lesa Srednego Priangar'ya* [Forests of the Middle Angara region]. Novosibirsk: Science, 1977, pp. 192–249.

Authors' information

Chernyshenko Oksana Vasil'evna — Dr. Sci. (Biology), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tchernychenko@mgul.ac.ru

Vasil'ev Sergey Borisovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), svasilyev@mgul.ac.ru

Received 04.02.2019.

Accepted for publication 24.06.2019.