
КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

УДК 574.2:582.632.2:631.81.095.337

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ФИТОМАССЕ ДУБА ПУШИСТОГО

І. Г. Савушкіна

Таврійський національний університет ім. В. І. Вернадського

ДИНАМИКА ВМІСТУ ДЕЯКИХ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ І ФІТОМАСІ ДУБА ПУХНАСТОГО

Робота присвячена дослідженню розподілу цинку, міді, свинцю та кадмію у ґрунті і фітомасі дуба пухнастого з урахуванням їхньої сезонної динаміки в умовах Кримського південнобережжя. Відзначається залежність концентрації хімічних елементів у рослинах від їхнього валового вмісту і рухливих форм, витягнутих ацетатно-амонійним буферним розчином у ґрунті. Вміст мікроелементів у різних фракціях фітомаси рослин широко варіює. Сезонні зміни вмісту мікроелементів відзначені тільки для фракції листя та річних пагонів. При цьому відбувається закономірне зниження вмісту досліджуваних мікроелементів від весни до осені. Для характеристики вибірковості поглинання хімічних елементів із ґрунту і ступеня їхньої доступності для рослин розраховано коефіцієнт біологічного поглинання і рослинно-ґрунтовий коефіцієнт.

Ключові слова: дуб пухнастий, важкі метали, валовий уміст, рухливі форми, фракції фітомаси, сезонна динаміка.

I. G. Savushkina

V. I. Vernadsky Tavrijsky National University

DYNAMICS OF THE CONTENT OF SOME HEAVY METALS IN SOIL AND OF THE PUBESCENT OAK'S BIOMASS

The results of an investigation of zinc, copper, lead and cadmium distribution in soils and pubescent oak's phytomass are given. The current research is related only to the trees of the South Coast of Crimea. Concentrations of chemical elements in plants depend on their total amount and also on the presence of the active forms extracted by the acetate-ammonium buffer from soil. The microelements' amount in the different fractions of the plant biomass greatly varies. Seasonal changes of the microelements' content were noted only for leaves and bines. Besides, a natural reduction of the amount of investigated microelements was marked from spring to an autumn. The biological absorption coefficient and vegetative-soil coefficient were calculated. Such evaluations could be used to describe a selectivity of chemical elements' absorption from the soils and also to define a degree of these elements availability to plants.

Key words: pubescent oak, heavy metals, total amount, active forms, phytomass' fractions, seasonal changes.

Сведения о концентрациях химических элементов в растениях уже давно привлекают внимание специалистов. Поглощенные из почвы химические элементы распределяются в организме растений неравномерно, что обусловлено физиологической ролью каждого из них, спецификой биохимических процессов в различных частях растения, концентрацией ионов в питательной среде. Иллюстрацией неодинаковой насыщенности тканей различных органов (частей) могут служить данные, полученные целым рядом исследователей (Трейман, 1981; Ильин, 1985; Цветкова, 1992; Биогеоценологический покров ..., 1983 и др.). В большинстве из этих работ приводятся дан-

© Савушкіна І. Г., 2006

ные по содержанию микроэлементов без учета их сезонной динамики. Кроме того, по-прежнему дискуссионным остается вопрос о влиянии содержания элементов в почве на их концентрации в растительном материале. Имеются многочисленные доказательства, указывающие на прямую зависимость между запасами элементов в почвах и их концентрациями в растениях (Пастернак, 1967; Погребняк, 1968; Морозова, 1979; Силаева, 1999), а также противоположные данные, свидетельствующие о том, что концентрация химических элементов в растениях не связана с их содержанием в почве (Golley *et al.*, 1978). Неоднозначные выводы получены и для тяжелых металлов, хотя хорошо известно, что последние могут быть весьма токсичными для живых организмов.

Среди 27 химических элементов, которые относятся к необходимым элементам питания растения и физиологическая роль которых довольно полно изучена, находятся цинк и медь. А физиологическое значение таких элементов, как свинец и кадмий, так называемых условно необходимых элементов, исследовано не до конца. В настоящем сообщении приводятся данные о распределении вышеупомянутых элементов в почве и фитомассе дуба пушистого с учетом их сезонной динамики в условиях Южного берега Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работу проводили в течение вегетационного периода 2003 года. Объектом исследования служили два порослевых многоствольных модельных дерева дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd.), произрастающих на пробной площади, расположенной на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор, в двух километрах от села Лавровое. Рельеф пробной площади имеет овражно-балочный характер. Растительность представлена формацией дуба пушистого – *Querceta pubescentis*. Тип леса – сухая грабинниковая дубрава. Почва бурая горно-лесная, маломощная, глинисто-шиферная с выходами материнской породы. Отбор образцов проводили в мае, августе и октябре. Фитомасса деревьев была разделена на отдельные фракции: листья, однолетние побеги, тонкие ветви, средние ветви, крупные ветви, ствол (кора и древесина), крупные корни (более 10 мм), средние корни (1–10 мм), тонкие корни (до 1 мм). В ходе работы были отмечены резкие различия в концентрациях элементов в коре и древесине стволов, поэтому в дальнейшем эти фракции проанализировали отдельно. Таким образом, анализу подвергали в общей сумме 10 фракций. В связи с тем что в древесине и коре содержание химических элементов изменяется от основания к вершине, брали среднюю пробу. Средняя проба включала образцы, отобранные через каждые полтора метра вдоль ствола, вес каждого из них был пропорционален диаметру спила. Фракции листьев и ветвей также были усреднены, так как в зависимости от размещения в кроне (высота, условия освещенности) содержание в них многих химических элементов может изменяться. Корни растений отбирали вручную (без отмывания водой) с разделением на фракции. Объединенные пробы отдельных фракций фитомассы высушивали, измельчали и проводили минерализацию методом сухого озоления.

Объединенные пробы почвы составляли из точечных (индивидуальных) проб, отобранных буром под модельными деревьями в пределах проекции их крон. Вокруг каждого дерева было отобрано по 10 точечных проб. Поскольку целью проведения анализа почвы было изучение обеспеченности растений микроэлементами, отбор проб проводился без учета почвенных горизонтов. При этом глубина каждой скважины составляла 70–80 см. В полученных таким образом пробах определяли валовое содержание металлов, а также их подвижные формы с использованием в качестве экстрагента 1М *HCl* и ацетатно-аммонийный буферный раствор с *pH* 4,8.

Тяжелые металлы (*Zn*, *Cu*, *Pb*, *Cd*) в образцах фитомассы и в почве определяли атомно-абсорбционным методом в пламени ацетилен-воздух (Методические указания ..., 1989) на приборах *AAS-3* и *Hitachi Z-700*. Анализ выполняли в трехкратной повторности, и данные обрабатывали с использованием стандартных статистических методов. Содержание элементов пересчитывали в мг/кг массы воздушно-сухого вещества.

Для характеристики избирательности поглощения химических элементов растениями из почвы использован коэффициент биологического поглощения – КБП (Перельман, 1975). Этот показатель отражает соотношение между содержанием изучаемого химического элемента в почве и растении и находится как частное от деления количества химического элемента в золе растений на его валовое содержание в почве. Как известно, КБП элементов изменяется в пределах от 0,001 до 100 (Перельман, 1975).

Степень доступности элементов в почве для растений и способность их органов накапливать микроэлементы определяли путем использования растительно-почвенного коэффициента (РПК), представляющего собой соотношение содержания элемента в растении к содержанию его подвижных форм в почве в пересчете на воздушно-сухой вес (Кашин, 1998).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание валовой и подвижных форм тяжелых металлов в почве

Минеральные питательные вещества черпаются растениями из почвы через корневую систему. Они поступают в растение преимущественно в форме ионов или присутствующих в растворе, или адсорбированных частицами, а затем используются растительным организмом для создания органического вещества. Как правило, при определении содержания микроэлементов в почве, в том числе и тяжелых металлов, прежде всего рассматривается их валовое содержание. Однако валовое содержание характеризует общую загрязненность почвы, но не отражает степени доступности элементов для растения. Поэтому для характеристики состояния почвенного питания растений предпочтительнее использовать их подвижные формы.

Общее количество подвижной формы металла в почве определяют, применяя кислотную вытяжку (например, 1 М HCl). Для оценки наиболее мобильной части подвижных запасов тяжелых металлов в почве используют ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4,8. Этот экстрагент принят агрохимической службой для извлечения доступных растениям микроэлементов и используется для оценки обеспеченности почв ими (Методические указания ..., 1989; Орлов, 1998).

На рис. 1 представлены данные по содержанию четырех элементов, доступных для растений (подвижные формы), в сопоставлении с их валовым содержанием в почве. На нем хорошо видно, что подвижные формы всех элементов имеют гораздо

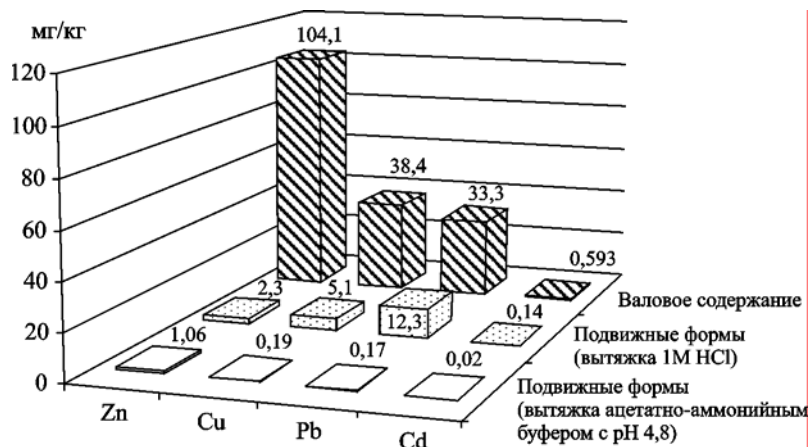


Рис. 1. Среднее содержание Zn, Cu, Pb и Cd в почве исследуемого района

более низкие концентрации. При этом концентрации подвижных форм металлов, извлекаемых кислотной вытяжкой, в целом не зависят от значений их валового содер-

жания. Судя по высоте столбцов, наиболее труднодоступным элементом является цинк, а легкодоступным – свинец. В значительно большей степени валовое содержание металлов находит отражение в уровне содержания подвижных форм, экстрагируемых ацетатно-аммонийным буферным раствором. В этом случае максимальные концентрации как валового содержания, так и подвижных форм приходятся на цинк, а минимальные – на кадмий. Значительная разница между валовым содержанием микроэлементов и подвижными формами объясняется тем, что ионы металлов в почве находятся в связанном состоянии в виде нерастворимых солей, органоминеральных соединений или в составе минералов.

Закономерности сезонной изменчивости содержания тяжелых металлов в фитомассе дуба пушистого

Анализ фитомассы дуба пушистого показал, что наиболее динамичным является химический состав ассимилирующих частей – листьев и годичных побегов. Он зависит от биохимических превращений, связанных с процессами роста, а следовательно, непостоянен в течение вегетационного сезона. По характеру сезонной динамики в зеленых частях фитомассы для всех исследованных металлов имеется одинаковая тенденция к снижению концентрации от весны к осени. Наиболее резкое снижение концентрации более чем в 2,5 раза отмечено в листьях для свинца: 1,93 мг/кг – в начале и 0,69 мг/кг – в конце сезона вегетации (рис. 2). В годичных побегах изменение концентрации было не столь значительным. При этом следует отметить, что если в начале сезона содержание этого металла в листьях было почти в два раза выше, чем в годичных побегах, то к концу вегетации эти показатели стали практически одинаковыми. Свинец – токсичный элемент, занимающий третье место по токсичности после ртути. В настоящее время не известны вполне определенные биохимические процессы, которые проходили бы с участием данного элемента, физиологическая роль свинца изучена исключительно слабо. Известно, что избыток свинца в растениях ингибирует дыхание и подавляет процесс фотосинтеза, иногда приводит к увеличению содержания кадмия и снижению поступления цинка, кальция, фосфора, серы. Внешние симптомы негативного действия свинца – появление темно-зеленых листьев, скручивание старых листьев, чахлая листва (Кабата-Пендиас, 1989).

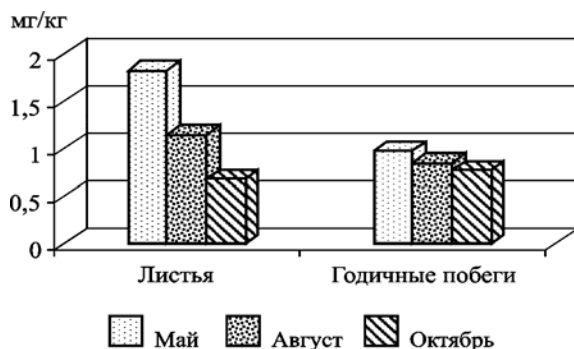


Рис. 2. Сезонная динамика содержания свинца в листьях и годичных побегах дуба пушистого

Если говорить о кадмии, то его содержание снизилось за исследуемый период в среднем в 1,8 раза в листьях и в два раза в годичных побегах (рис. 3). При этом его концентрация в годичных побегах на протяжении всего сезона превышала концентрацию в листьях в среднем почти в два раза.

Кадмий – особо токсичный элемент, занимающий второе место после ртути. Токсичность кадмия для растений проявляется в нарушении активности ферментов, торможении фотосинтеза, нарушении транспирации, а также ингибировании восстановления NO_2 до NO . Кроме того, в метаболизме растений он является антагонистом ряда элементов питания (Zn , Cu , Mn , Ni , Se , Ca , Mg , P). При токсичном воздействии металла у растений наблюдаются задержка роста, повреждение корневой системы и хлороз листьев (Овчаренко, 1998).

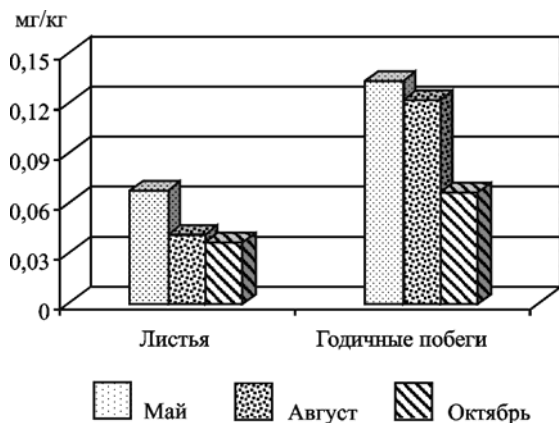


Рис. 3. Сезонная динамика содержания кадмия в листьях и годичных побегах дуба пушистого

Колебания показателей содержания цинка на протяжении всего периода исследования не превышали 1,5 раза (рис. 4). При этом в годичных побегах содержание этого элемента и в начале, и в конце сезона было в среднем в 1,4 раза выше, чем в листьях.

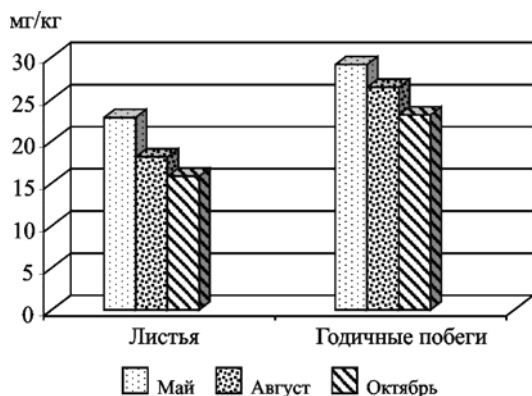


Рис. 4. Сезонная динамика содержания цинка в листьях и годичных побегах дуба пушистого

Количество меди как в листьях, так и в годичных побегах уменьшилось от весны к осени в два раза и составило в среднем 10,2 мг/кг – в начале сезона и 5,2 мг/кг – в конце сезона (рис. 5).

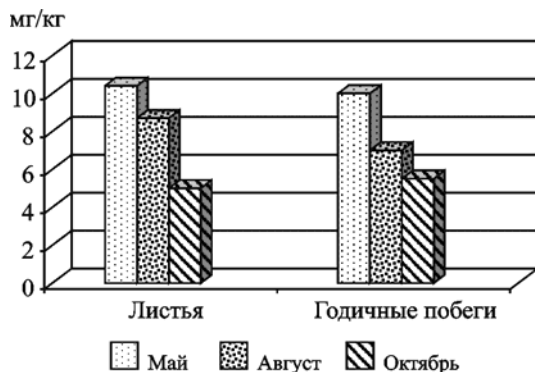


Рис. 5. Сезонная динамика содержания меди в листьях и годичных побегах дуба пушистого

Закономерности сезонной изменчивости химического состава листьев и однолетних побегов неоднократно отмечались в ряде работ для других химических элементов у целого ряда видов растений. Так, по данным югославских исследователей снижение концентрации марганца, молибдена, меди, цинка, железа и кобальта на

протяжении вегетации происходит в листьях бука и дуба (Murko et al., 1983). По данным украинских ученых, снижение концентрации в течение сезона характерно далеко не для всех химических элементов. Например, в листьях бука выделены в этом плане три группы элементов (Биогеоценологический покров ..., 1983). К первой группе отнесены азот, фосфор, калий, магний, характеризующиеся снижением концентрации от весны к осени. Вторую группу составляют кремний, кальций и марганец, у которых наблюдается повышение концентрации в течение вегетационного периода и значительное поступление в опад. В третьей группе элементов (алюминий, железо, натрий) существенных закономерностей в сезонной динамике не обнаружено. Результаты изучения химического состава листьев древесных пород в степной Украине также подтверждают наличие различных сезонных ритмов в содержании отдельных микроэлементов (Цветкова, 1992).

Что касается снижения концентрации ряда элементов в листьях и однолетних побегах от весны к осени, то можно предположить, что оно является следствием интенсивного вовлечения их в процессы метаболизма и отвода в конце сезона вегетации в другие органы для повторного использования на следующий год. Возможно также, что падение массовой доли этих элементов связано с увеличением в сухой массе листа доли клетчатки и веществ вторичного синтеза. Так, для дуба пушистого и дуба скального было установлено, что от весны к осени в листьях происходит увеличение концентрации веществ вторичного синтеза (Бойко, 1997).

Закономерности распределения тяжелых металлов по фракциям фитомассы дуба пушистого

Данные по содержанию определяемых металлов в различных фракциях фитомассы дуба пушистого приведены в табл. 1. Наибольшая неоднородность по характеру содержания и распределения элементов отмечена для фракций стволов деревьев (кору и древесины). Как уже отмечалось, анализ коры и древесины проводились отдельно. Оказалось, что древесина стволов является самой обедненной из всех рассмотренных фракций. Для коры имеется тенденция к накоплению высоких концентраций (табл. 1). Наименьшие различия между содержанием в древесине и коре отмечены для меди: меньше чем в 6 раз. Для остальных элементов эти различия оказались значительно большими. Так, содержание цинка в коре больше, чем в древесине, почти в 19, кадмия в 33, а свинца почти в 53 раза. Столь высокие концентрации наиболее токсичных металлов (свинца и кадмия) в коре, по-видимому, связаны с их многолетним отложением в многослойной мертвой ткани коры. Возможно, подобным образом растение избавляется от их избытка. По-видимому, по этой причине сезонная динамика в древесине и коре не выражена.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в различных фракциях фитомассы дуба пушистого, мг/кг

Фракция фитомассы	Микроэлементы			
	Цинк	Медь	Свинец	Кадмий
Листья (среднее за сезон)	18,9±1,0	8,0±0,8	1,2±0,19	0,047±0,005
Годичные побеги (среднее за сезон)	26,2±0,9	7,5±0,7	0,86±0,03	0,107±0,011
Ветви мелкие	5,7±0,2	3,7±0,2	0,47±0,02	0,042±0,002
Ветви средние	3,8±0,1	2,5±0,1	0,31±0,01	0,034±0,001
Ветви крупные	1,5±0,1	2,0±0,1	0,20±0,01	0,023±0,001
Кора	18,3±0,7	10,3±0,4	8,41±0,32	0,690±0,028
Древесина	0,97±0,04	1,8±0,1	0,16±0,01	0,021±0,001
Тонкие корни	18,3±0,6	8,4±0,3	0,87±0,04	0,061±0,002
Средние корни	12,6±0,4	4,9±0,2	0,57±0,02	0,048±0,002
Крупные корни	4,1±0,2	2,7±0,1	0,35±0,01	0,031±0,001

В ветвях содержание всех определяемых металлов значительно ниже, чем в листьях. Однако различные фракции ветвей сильно отличаются между собой по этому показателю. Наиболее богата изучаемыми элементами фракция тонких ветвей, бед-

нее ими средние ветви. Самое низкое содержание определяемых металлов обнаружено в крупных ветвях, и в отдельных случаях найденные значения приближаются к таковым, полученным для состава стволов.

Таким образом, из данных табл. 1 видно, что химизм ветвей значительно зависит от их размеров. Снижение концентрации исследованных элементов по мере увеличения толщины ветвей связано с изменением в них соотношения массы коры и древесины. Как уже было указано выше, древесина является самой обедненной фракцией фитомассы. Так же, как и в случае с тканями ствола, сезонная динамика для фракций ветвей практически не выражена.

Среднее содержание металлов во фракции корней дуба имеет большое сходство с таковыми у ветвей. Здесь отмечена та же закономерность – уменьшение содержания микроэлементов с увеличением диаметра корней. Таким образом, наиболее богатой металлами фракцией является фракция всасывающих и тонких проводящих корней. Концентрация всех металлов с укрупнением корней снижается в среднем в 2 – 4,5 раза. При этом концентрация меди и цинка во фракции тонких корней примерно соответствует их концентрации в коре деревьев.

КБП и РПК тяжелых металлов

С целью получения самой общей характеристики интенсивности поглощения растениями микроэлементов из почвы рассчитано обобщенное значение КБП в целом для всего растения. При этом концентрация металлов в коре не учитывалась, так как элементы, содержащиеся в этой фракции, уже исключены из физиологических процессов, протекающих в растении. Усредненные данные КБП составили: 0,10 – для цинка, 0,12 – для меди, 0,02 – для свинца и 0,07 – для кадмия. Из этих данных следует, что для дуба пушистого медь и цинк являются элементами среднего, а свинец и кадмий – слабого захвата. Низкие значения КБП свинца и кадмия, скорее всего, обусловлены их слабым участием в биологических процессах и результатом срабатывания у растений барьерных механизмов, препятствующих их поглощению. В то же время медь и цинк относятся к необходимым элементам питания растения и, следовательно, извлекаются из почвы более активно, чем свинец и кадмий.

Полученные значения растительно-почвенного коэффициента подтверждают данные о различной способности органов растений к накоплению микроэлементов. Из данных табл. 2 видно, что наиболее высокие значения РПК по меди и цинку наблюдаются во фракциях коры, листьев и годичных побегов. Свинец же и кадмий в наибольшей степени аккумулируются во фракции коры. Таким образом, растение максимально аккумулирует необходимые для него элементы в органах с активным метаболизмом и откладывает избыток весьма токсичных элементов в коре.

Таблица 2

Растительно-почвенный коэффициент микроэлементов

Фракция фитомассы	РПК Zn	РПК Cu	РПК Pb	РПК Cd
Листья (среднее за сезон)	17,8	42,1	7,1	2,4
Годичные побеги (среднее за сезон)	24,7	39,5	5,1	5,4
Ветви мелкие	5,4	19,5	2,8	2,1
Ветви средние	3,6	13,2	1,8	1,7
Ветви крупные	1,4	10,5	1,2	1,2
Кора	17,3	54,2	49,5	34,5
Древесина	0,9	9,5	0,9	1,1
Тонкие корни	17,3	44,2	5,1	3,1
Средние корни	11,9	25,8	3,4	2,4
Крупные корни	3,9	14,2	2,1	1,6

Обсуждаемые результаты проведенных исследований согласуются с имеющимися сведениями о прямой зависимости между содержанием элементов в растениях и их запасами в почвах (Пастернак, 1967; Погребняк, 1968; Морозова, 1979; Силаева, 1999). При этом необходимо отметить, что эта зависимость для данных почв выра-

жена только при рассмотрении валового содержания элементов и их подвижных форм, экстрагируемых ацетатно-аммонийным буфером. Концентрации же подвижных форм элементов, извлекаемых кислотной вытяжкой, не находят отражения их содержания в фитомассе растений. Так, несмотря на то что свинец в кислотной вытяжке является довольно легкодоступным элементом, его концентрация практически во всех фракциях фитомассы дуба пушистого значительно не увеличивается. В то же время кислоторастворимые подвижные формы цинка в почве имеют сравнительно незначительные концентрации, но зато в растительном организме их содержание наибольшее. Не исключено, что в условиях с очень высокими концентрациями металлов в почве накопление их растением будет носить иной характер.

ВЫВОДЫ

1. Содержание подвижных форм металлов, экстрагируемых ацетатно-аммонийным буферным раствором, отражает уровень их валового содержания в почве. При этом максимальные концентрации приходятся на цинк, а минимальные – на кадмий.
2. Содержание микроэлементов во фракциях фитомассы дуба пушистого широко варьирует. Содержание меди меняется в интервале 10,3–1,3 мг, цинка 26,2–0,97 мг, свинца 8,41–0,16 мг, кадмия 0,690–0,021 мг на 1 кг воздушно-сухой пробы.
3. Сезонные изменения в содержании микроэлементов отмечены только для фракции листьев и годичных побегов. При этом происходит закономерное снижение содержания изучаемых микроэлементов от весны к осени.
4. Установлена зависимость концентрации химических элементов в растениях от их валового содержания и подвижных форм, извлеченных ацетатно-аммонийным буферным раствором в почве.
5. В соответствии со значениями коэффициента биологического поглощения свинец и кадмий отнесены к элементам слабого, а цинк и медь – среднего захвата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Биогеоценологический** покров Бескид и его динамические тенденции / М. А. Голубец, Д. В. Борсук, М. В. Гаврилюк и др. – К.: Наук. думка, 1983. – 240 с.
- Бойко Г. Е.** Некоторые особенности состава вторичных метаболитов в листьях *Quercus pubescens* Willd., *Q. Petraea* Liebl. и *Q. robur* L. / Г. Е. Бойко, А. В. Ивашов // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана. – К., 1997. – С. 55-60.
- Ильин В. Б.** Элементный химический состав растений. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.
- Кабата-Пендиас А.** Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Кабата-Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
- Кашин В. К.** Особенности накопления свинца в растениях бассейна озера Байкал / В. К. Кашин, Г. М. Иванов // Экология. – 1998. – № 4. – С. 316-318.
- Методические** указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М., 1989. – 64 с.
- Морозова Р. М.** Лесорастительные свойства почв сосновых лесов // Плодородие почв сосновых лесов Карелии / Р. М. Морозова, И. П. Лазарева. – Петрозаводск, 1979. – С. 5-48.
- Овчаренко М. М.** Факторы почвенного плодородия и загрязнение продукции тяжелыми металлами / М. М. Овчаренко, В. В. Бабкин, Н. А. Кирпичников // Химия в сельском хозяйстве. – 1998. – № 3. – С. 31-34.
- Орлов Д. С.** Микроэлементы в почвах и живых организмах // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 1. – С. 61-68.
- Пастернак П. С.** Лісові ґрунти Українських Карпат. – Ужгород: Карпати, 1967. – 172 с.
- Перельман А. И.** Геохимия ландшафта. – М.: Высш. шк., 1975. – 341 с.
- Погребняк П. С.** Общее лесоводство. – М.: Колос, 1968. – 440 с.
- Силаева Т. Б.** Тяжелые металлы в растениях в условиях загрязнения / Т. Б. Силаева, Д. И. Башмаков, Е. С. Башмакова // Междунар. конф. «Физиология растений – наука 3-го тысячелетия». – М., 1999. – Т. 1. – С. 459-460.
- Трейман А. А.** Потребность яровой пшеницы в макро- и микроэлементах // Агрехимия. – 1981. – № 11. – С. 64-71.

Цветкова Н. Н. Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины. – Д.: Изд-во ДГУ, 1992. – 238 с.

Golley B., Richardson Th., Clements R. Elemental concentrations in tropical forests end soils of Northwestern Colombia // Biotropica. – 1978. – Vol. 10, № 2. – P. 144-151.

Murko D., Alibalić J., Rugin V. Istraživanje dinamike sadržaja mikroelemenata u lišću i metinama nekih vrsta drveća tokom vegetacijskog perioda // Agrohemija. – 1983. – № 3-4. – P. 135-139.

Надійшла до редколегії 27.01.06