

УДК 631.4

СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ И ЦИНКА В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» В УСЛОВИЯХ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ ЮЖНОГО УРАЛА (НА ПРИМЕРЕ *ACHILLEA NOBILIS* L.)

© 2011 Г.Г. Бускунова, А.А. Аминова

Сибайский институт (филиал) ГОУ ВПО «Башкирский государственный университет, г. Сибай

Поступила 07.05.2010

Обсуждается проблема экологической чистоты лекарственного растительного сырья *Achillea nobilis* L., имеющего большие ресурсы на Южном Урале в медно-цинковой геохимической провинции. Выявлено, что в некоторых ценопопуляциях вида содержание меди и цинка в органах растения выходит за пределы допустимой нормы.

Ключевые слова: тяжелые металлы, лекарственное растительное сырье, коэффициент биологического накопления

Южный Урал является медно-цинковой геохимической провинцией, где сосредоточено огромное количество месторождений черных и цветных металлов. На территории Республики Башкортостан (РБ) в Зауральском регионе от г. Учалы до г. Гай Оренбургской области локализовано до 70% меди, добываемой в России. Здесь ведется не только добыча полезных ископаемых, но и их обогащение. Биогеохимическая ситуация, обусловленная техногенным загрязнением, – деятельностью Белорецкого и Магнитогорского металлургических комбинатов, Учалинского, Бурибаевского, Сибайского (филиал УГОК) горнообогатительных комбинатов усложняет санитарно-гигиеническую обстановку региона.

Перспективность использования лекарственных растений принято оценивать по их химическому составу и фармакологическим свойствам. Однако использование многих ценных дикорастущих растений может быть затруднено или ограничено, вследствие их способности накапливать токсичные элементы в местах их естественного произрастания [11]. Усиление антропогенной нагрузки на окружающую среду создает проблему экологической чистоты ЛРС [5, 9, 10, 15]. Региональный характер исследования проблемы загрязнения лекарственного растительного сырья (ЛРС) обусловлен различиями природно-климатических и геохимических условий территорий, где осуществляется заготовка ЛРС [16, 17].

Исследование минерального состава ЛРС имеет в настоящее время двойственное значение. С одной стороны, сырье, содержащее богатый комплекс макро- и микроэлементов, представляет ценность как источник необходимых для организма веществ [6, 21]. С другой стороны, использование растений – природных адсорбентов и накопителей элементов, в том числе токсических, представляют опасность для здоровья человека, т.к., тяжелые металлы (ТМ) способны передаваться по цепочке «почва-растение-человек» [2, 14].

Возрастающая потребность в препаратах растительного происхождения и загрязнение окружающей среды требуют проведения комплексных региональных исследований по изучению влияния внешних условий на качество ЛРС, в том числе определения его экологической чистоты.

Имея большие ресурсы на Южном Урале, *Achillea nobilis* L. является перспективным лекарственным растением, и по этой причине исследование содержания в составе его сырья распространенных в регионе меди и цинка является актуальной задачей.

Целью работы является изучение в условиях геохимической провинции Южного Урала содержания меди и цинка в почвенных образцах и особенности их накопления в надземных и подземных частях *A. nobilis* L. произрастающих на этих почвах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Полевые исследования проводились в период массового цветения *A. nobilis* L. в Зауральском регионе на территории РБ, Челябинской и Оренбургской областей на ценопопуляциях (ЦП), отдаленных друг от друга на несколько десятков километров.

С целью выявления влияния микроэлементного состава в местах произрастания *Achillea nobilis* L. нами отобраны образцы почв в 3-х повторностях. На тех же пробных площадях параллельно собраны надземные и подземные органы исследуемого вида, они высушены по требованиям Государственной фармакопеи [3] и просеяны через сито с размером ячеек в 1 мм. В лаборатории Центра Агрохимической службы «Башкирский» РБ (N РОСС. PV. 0001.21 ПП24) методом атомной абсорбции определено содержание валовых и подвижных форм меди и цинка (мг/кг). Для определения содержания валовых форм ТМ в качестве экстрагента использовали 5М азотную кислоту, для кислоторастворимых подвижных форм – 1М HNO₃. Нами также изучено содержание Cu и Zn (мг/кг) отдельно в соцветиях, листьях, стеблях и корнях *A. nobilis* L.

Для определения аккумуляции исследуемых тяжелых металлов в тысячелистнике благородном использовали коэффициент биологического нако-

Бускунова Гульсина Гильмановна, лаборант, Аминова Аниса Ахметсафеевна, канд. биол. наук, доц., e-mail: gulsina_busk@mail.ru

пления (КБН), показывающий способность растений избирательно поглощать химические элементы. Его вычисляли по формуле

$$КБН = \frac{\text{содержание элемента в растении}}{\text{содержание элемента в почве}}$$

Считается, что если $КБН > 1$, растение является концентратом исследуемого элемента; если $КБН < 1$, вид не аккумулирует металл в своем организме [8].

Для выяснения изменчивости содержания ТМ в почвах и в растительном сырье был вычислен коэффициент вариации ($C_v, \%$). При этом учитывали, что если C_v до 10% – низкая изменчивость признаков; от 11% до 20% – средняя; от 21% и выше – высокая [7].

Статистическая обработка полученных данных была проведена с помощью пакетов статистических программ Excel, 2003 и Statistica 6,0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание валовой формы меди в почвах Южного Урала варьирует от $16,7 \pm 1,14$ (ЦП 7) до $67,3 \pm 0,52$ мг/кг (ЦП 3) ($C_v = 45,9\%$). Предельно допустимая концентрация (ПДК) валового содержания меди в почве составляет 55,0 мг/кг [12]. На Южном Урале валовое содержание Cu не превышает ПДК, за исключением ЦП 3, расположенной около г. Баймак РБ, где концентрация меди составляет $67,3 \pm 0,52$ мг/кг. Для этой территории характерен также очень высокий показатель кислоторастворимой подвижной формы меди, что, возможно, указывает на наличие месторождений цветных металлов (рис. 1).

Подвижные формы меди в почвах исследуемой территории колеблется от $4,4 \pm 0,18$ (ЦП 11) до $34,2 \pm 2,24$ мг/кг (ЦП 3) ($C_v = 82,6\%$) и превышают ПДК, установленную на уровне 3,0 мг/кг [13]. В целом наблюдается очень высокая концентрация меди в почвах всей исследованной территории, но в то же время содержание элемента в органах *A. nobilis* L. не выходит за рамки фитотоксичной концентрации, за исключением одной ЦП, находящейся возле шоссе и характеризующейся повышенной влажностью почвы.

По классификации В.К. Гирфанова и Н.Н. Ряховской [4], почвы Южного Урала относятся к III, IV и V группе загрязненности по содержанию подвижной меди. III группа почв содержит от 5,1 до 10,0 мг меди на 1 кг, к этой группе можно отнести изученные нами ЦП 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, где превышение ПДК составляет 0,5-2,5 раза. IV группу составляют почвы с высоким содержанием элемента – от 10,1 до 20,0 мг/кг (ЦП 1, 2), где превышение ПДК составляет 3-4 раза. В V группу входят почвы с очень высоким содержанием подвижной меди (более 20,0 мг/кг), где превышение ПДК составляет 10-11 раз (ЦП 3).

Содержание меди в соцветиях *A. nobilis* L. колеблется от $6,8 \pm 0,17$ до $12,6 \pm 1,75$ мг/кг ($C_v = 19,2\%$), в листьях – от $6,9 \pm 0,08$ до $35,9 \pm 0,06$ мг/кг ($C_v = 68,4\%$), в стеблях – от $3,4 \pm 0,05$ до $44,50,4$ мг/кг ($C_v = 99,3\%$), в корнях – от

$9,5 \pm 0,09$ до $42,2 \pm 0,05$ мг/кг ($C_v = 65,6\%$). К сожалению, отсутствуют утвержденные органами санитарного надзора показатели ПДК токсичных элементов в лекарственном растительном сырье. По этой причине для сравнения мы брали содержание меди, установленное для растений на уровне от 1 до 10 мг/кг сухой массы. Концентрация элемента выше 20 мг/кг считается токсичной [1].

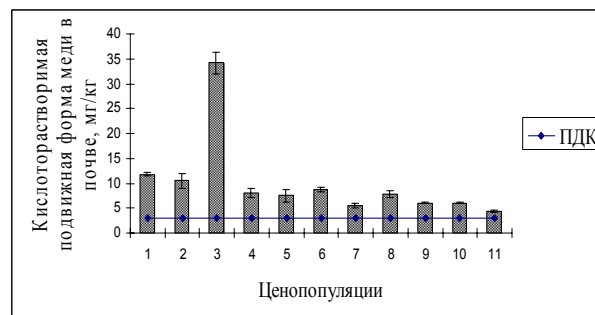


Рис. 1. Содержание кислоторастворимой подвижной формы Cu в почвах исследованных ценопопуляций *Achillea nobilis* L.

Содержание меди в соцветиях тысячелистника превышает норму в ЦП 3 ($10,64 \pm 0,24$ мг/кг), в ЦП 9 ($10,12 \pm 0,30$ мг/кг), в ЦП 11 ($12,64 \pm 1,75$ мг/кг); в листьях – в ЦП 4 ($10,29 \pm 0,07$ мг/кг), в ЦП 6 ($12,92 \pm 0,05$ мг/кг), в ЦП 9 ($11,04 \pm 0,05$ мг/кг); в стеблях – в ЦП 5 ($13,96 \pm 0,08$ мг/кг). В изученных нами ценопопуляциях медь в надземных частях растений не превышала токсическую концентрацию, за исключением ЦП 11 (в листьях – $35,89 \pm 0,06$ мг/кг; в стеблях – $44,48 \pm 0,04$ мг/кг), расположенной возле дороги с интенсивным движением.

Анализ содержания меди в органах тысячелистника благоприятного показал, что наибольшее количество меди сосредоточено в корнях ($16,78 \pm 0,54$ мг/кг). Далее данный показатель уменьшается в ряду: листья ($11,94 \pm 0,45$ мг/кг) → стебли ($10,59 \pm 0,37$ мг/кг) → соцветия ($8,88 \pm 0,28$ мг/кг). Этот факт свидетельствует о том, что корневая система *A. nobilis* является концентратом меди и выполняет барьерную роль на пути транспортировки элемента в надземные органы (рис. 2). Изучение литературы по данной проблеме показывает, что у многих видов растений подземная часть блокирует поступление избыточного количества тяжелых металлов в надземные органы [2, 19, 20], что играет защитную функцию от токсического влияния ТМ.

Максимальные коэффициенты накопления в органах тысячелистника благоприятного обнаружены в ЦП 11, характеризующейся минимальным содержанием элемента в почвах, где $КБН_{Cu}$ в корнях составляет величину 4,83; в стеблях – 10,13; в листьях – 8,18; в соцветиях – 2,88. Если высокое содержание меди в почвах способствует снижению показателя КБН, то низкое содержание элемента, наоборот, приводит к обратному результату – растения тысячелистника при этом начинают концентрировать металл в надземных и

подземных частях (рис. 3). В условиях низкого содержания меди в почвах вид выступает как сверхконцентратор элемента, высокого – деконцентратор металла.

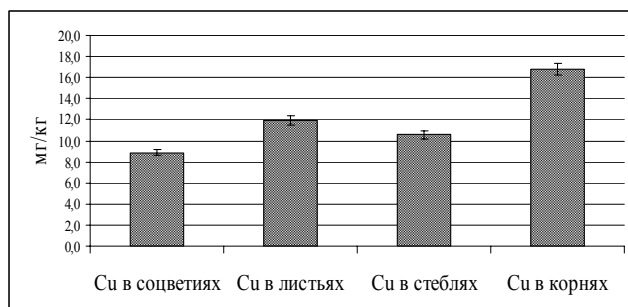


Рис. 2. Содержание меди в различных органах *Achillea nobilis* L.

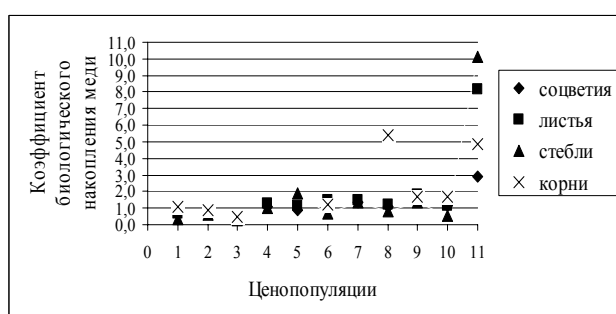


Рис. 3. Показатели КБН меди в различных органах *Achillea nobilis* L.

КБН меди в различных органах *A. nobilis* изменяется от 0,24 до 10,13, т.е. в зависимости от условий произрастания вид может играть роль накопителя и даже выступать качестве сверхконцентратора данного металла. Поэтому показатели K_{Cu} в различных ценопопуляциях существенно отличаются.

Самой низкой величиной K_{Cu} характеризуется ЦП 3, где обнаружено максимальная для исследованной территории содержание меди в почвах. Также низкие коэффициенты накопления, не выходящие за 1, показали растения из ЦП 1 и 2, где почвам характерно соответствующее большое количество меди. Таким образом, интенсивность поглощения элемента снижается с увеличением его концентрации в почвах (рис. 4).

Это можно объяснить тем, что в растении имеются регуляторные механизмы поступления меди в организм: при низком содержании металла они способствует его транспортировке из почвы в растение, а при высоком наоборот, блокируют систему «почва-растение». Нужно отметить, что КБН меди в корнях наибольший по сравнению с другими органами, что свидетельствует о барьерной функции подземных органов в поглощении элемента.

Ю.В. Алексеев [1] отмечает, что цинк обладает сильной фитотоксичностью, которая обнаруживается только при существенном увеличении его содержания в почве. Содержание подвижной формы Zn в почвах исследуемой территории колеблется от $7,19 \pm 0,52$ (ЦП 10) до $38,9 \pm 1,55$

мг/кг (ЦП 3) ($C_v = 60,7\%$), валовой формы – от $38,0 \pm 9,94$ (ЦП 7) до $86,0 \pm 11,38$ мг/кг (ЦП 6) ($C_v = 20,04\%$).



Рис. 4. Содержание меди в почвах и КБН элемента листьях *Achillea nobilis* L.

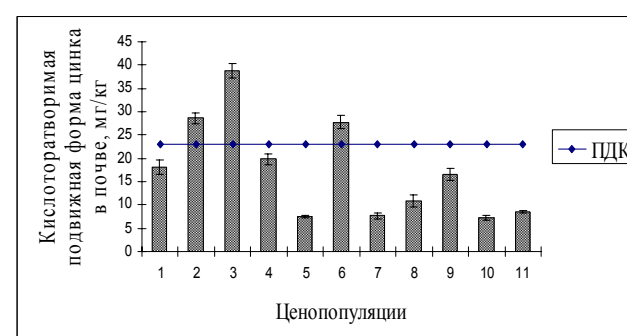


Рис. 5. Содержание кислоторастворимой подвижной формы Zn в почвах исследованных ценопопуляций *Achillea nobilis* L.

ПДК валовой формы цинка в почвах составляет 100 мг/кг, подвижной формы – 23,0 мг/кг [12]. Превышение ПДК подвижной формы Zn в почвах исследуемой территории наблюдается в ЦП 2, 3, 6 (рис. 5).

В соцветиях цинк накапливается в пределах от $25,4 \pm 0,05$ до $44,4 \pm 0,05$ мг/кг ($C_v = 15,6\%$), в листьях – от $30,9 \pm 0,05$ до $66,4 \pm 0,04$ мг/кг ($C_v = 7,7\%$); в стеблях – от $13,4 \pm 0,09$ до $40,6 \pm 0,05$ мг/кг ($C_v = 33,9\%$); в корнях – от $34,3 \pm 0,09$ до $49,6 \pm 0,07$ мг/кг ($C_v = 15,1\%$). Во всех органах *A. nobilis* L. цинк не превышает ПДК, определенную Н.В. Прохоровой с соавторами [18] в интервале от 150,0 до 300 мг/кг для растений. ПДК цинка для овощей и фруктов по СанПиН 42-123-4089-86 определен на уровне 10 мг/кг сырой массы, что при условном перерасчете на сухую массу (из расчета 80% воды и 20% сухого вещества) приблизительно составляет 50 мг/кг. При сравнении содержания цинка в надземных и подземных частях *A. nobilis* L. с ПДК цинка, установленной для овощей и фруктов, показал, что его содержание в органах вида не превышает ПДК, за исключением ЦП 5, где этот показатель в листьях составляет $66,36 \pm 0,04$ мг/кг, ЦП 6 ($56,55 \pm 0,04$ мг/кг) и ЦП 10 ($59,88 \pm 0,04$ мг/кг).

Содержание цинка больше в соцветиях ($35,5 \pm 1,71$ мг/кг) *A. nobilis* L., чем в корнях ($40,4 \pm 0,70$ мг/кг), стеблях ($25,6 \pm 0,45$ мг/кг) и листьях ($44,1 \pm 1,90$ мг/кг) (рис. 6). Такая же кар-

тина характерна близкому к *A. nobilis* виду – *A. asiatica*, изученному Г.А. Ягафаровой [20] в условиях Зауральского региона Республики Башкортостан.

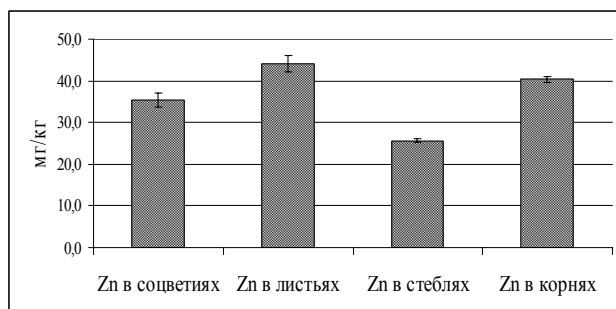


Рис. 6. Содержание цинка в различных органах *Achillea nobilis* L.

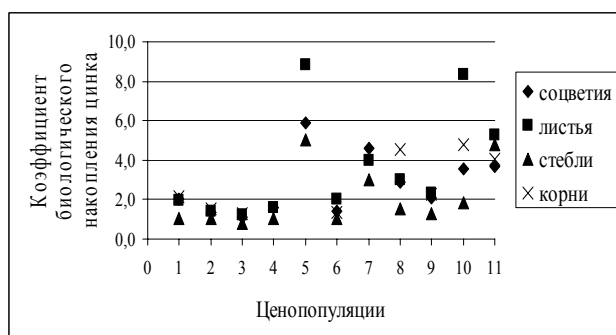


Рис. 7. Аккумуляция цинка в различных органах *Achillea nobilis* L.

$K_{BН_{Zn}}$ во всех органах выходит за пределы единицы, и колеблется в пределах от 1,02 до 8,81, что свидетельствует о концентрирующей роли растения относительно данного металла (рис. 7). При этом барьерная функция подземных органов выражена слабо ($K_{BН_{Zn}}$ от 1,33 до 4,77). В общей картине интенсивности поглощения выделяются листья ($K_{BН_{Zn}}$ от 1,44 до 8,81) и соцветия ($K_{BН_{Zn}}$ от 1,09 до 5,90).

ВЫВОДЫ

1. Медь в почвах Южного Урала превышает ПДК во всех исследованных ценопопуляциях, а цинк местами (ЦП 2, 3, 6) выходит за пределы нормы.

2. Содержание меди в органах *Achillea nobilis* L. не выходит за рамки фитотоксичной концентрации (за исключением одной ценопопуляции, характеризующейся высокой влажностью почвы).

3. Рассматривая закономерности распределения по органам тысячелистника благородного изученных металлов, следует обратить внимание на такие факты: содержание меди по органам *Achillea nobilis* L. уменьшается в ряду – корни → листья → стебли → соцветия, цинка – листья → корни → соцветия → стебли.

4. Подземные органы *Achillea nobilis* L. выполняют барьерную функцию по отношению меди, но не препятствует транспортировке цинка в надземную часть.

5. *Achillea nobilis* L. является концентратом цинка во всех органах ($K_{BН} > 1$). Чем больше меди в почвах, тем меньше ее содержание в органах растения.

6. Возможности заготовки *Achillea nobilis* L. в условиях геохимической провинции Южного Урала требует дальнейшего исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. Аминова А.А. Тысячелистник азиатский *Achillea asiatica* Serg. в Зауралье. Уфа: РИО БашГУ, 2003. 80 с.
3. Государственная фармакопея СССР. М.: Медицина, 1990. 573 с.
4. Гирфанов В.К., Ряховская Н.Н. Микроэлементы в почвах Башкирии и эффективность микроудобрений. М.: Наука, 1975. 171 с.
5. Гравель И.В. Содержание тяжелых металлов в сырье некоторых лекарственных растений, произрастающих в условиях атмосферного загрязнения (Республика Алтай) // Растительные ресурсы. 2000. Вып. 3. С. 99-105.
6. Грикевич Н.И., Баландина И.А., Фирсова С.В. и др. Использование лекарственных средств растительного происхождения для коррекции микроэлементного обмена при различных заболеваниях // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. Самарканд, 1990. С. 434-436.
7. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1973. 424 с.
8. Ивлев А.М. Биогеохимия. М.: Высш. шк., 1986. 127 с.
9. Караваев Н.Р. Экологическая оценка техногенного загрязнения лекарственного растительного сырья в промышленных центрах Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Уфа, 1995. 19 с.
10. Клетцова И.А. Особенности техногенного загрязнения лекарственных растений // Фармация. 2001. № 5. С. 28-29.
11. Коломиец Н.Э., Туева И.А., Мальцева О.А., Дмитрук С.Е., Калинин Г.И. Оценка перспективности некоторых видов лекарственного растительного сырья с точки зрения их экологической чистоты // Химия растительного сырья. 2004. № 4. С. 25-28.
12. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
13. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Колос, 1987. 64 с.
14. Мудрый И.В. Тяжелые металлы в системе «почва-растение-человек» // Гигиена и санитария. 1997. № 1. 268 с.
15. Попов А.И. Изучение влияния антропогенных факторов на элементный состав и ресурсы лекарственных растений Кемеровской области и Республики Тыва: Автореф. дис. ... доктора фарм. наук. М., 1995. 46 с.
16. Попов А.И., Танцерева И.Г., Чистохин Ю.Г., Большаков В.В. О целесообразности повышения требований по контролю качества лекарственного растительного сырья и препаратов на его основе // Проблемы и перспективы лекарственного обеспечения и развития фармацевтического рынка. Материалы межрегион. науч.-практич. конф. Кемерово, 2003. С. 61-62.

17. Попов А.И., Танцерева И.Г., Чистохин Ю.Г., Большаков В.В. Эколого-фармакогностическое исследование некоторых лекарственных растений Кемеровской области // Медицина в Кузбассе. 2006. № 2. С. 23-27.
18. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: «Самарский университет», 1998. С. 97-131.
19. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. С. 606-630.
20. Ягафарова Г.А. Экологические особенности тысячелистника азиатского в условиях природного загрязнения тяжелыми металлами: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2006. 18 с.
21. Ягафарова Г.А. Экология тяжелых металлов. Уфа: РИЦ РУНМЦ МО РБ, 2008. 108 с.

**COPPER AND ZINC CONTENT IN SYSTEM «SOIL - PLANT»
IN THE CONDITIONS OF A GEOCHEMICAL PROVINCE OF SOUTHERN URALS
(ON AN EXAMPLE OF *ACHILLEA NOBILIS* L.)**

© 2011 G.G. Buskunova, A.A. Amineva

Sibay Institute of Bashkir State University, Sibay

The problem of ecological cleanliness of medicinal vegetative raw materials *Achillea nobilis* L having big resources in a copper-zinc geochemical province of Southern Urals is discussed. It is revealed that in some species populations copper and zinc content in the plant bodies falls outside the admissible norm limits.

Keywords: *heavy metals, medicinal vegetative raw materials, factor of biological accumulation*