

УДК 635.96:632.95.028

**ПАВЛОВНИЯ ВОЙЛОЧНАЯ  
КАК БИОИНДИКАТОР  
СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ  
ПОЧВ**

Тыщенко Евгения Леонидовна  
канд. с.-х. наук  
ст. научн. сотр. лаборатории  
сортоизучения и селекции  
садовых культур

Якуба Юрий Федорович  
канд. техн. наук, доцент  
зав. Центром коллективного пользования  
Приборно-аналитическая

*Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение «Северо-Кавказский  
зональный научно-исследовательский  
институт садоводства и виноградарства»,  
Краснодар, Россия*

Способность определенных видов растений извлекать из почвы и накапливать в различных органах микроэлементы, особенно ионы тяжелых металлов, имеет большое значение для очистки земельных участков, загрязненных тяжелыми металлами в результате активного использования пестицидов и агрохимикатов. Павловния войлочная (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Stend.) может представлять ценность для этих целей. Цель исследований – оценить хозяйственно-биологический потенциал павловнии войлочной как биоиндикатора степени загрязненности почв в местах произрастания. Проведен анализ содержания микроэлементов в различных частях этого растения для оценки его хозяйственно-биологического потенциала. Установлено, что растения павловнии войлочной способны концентрировать в древесине в значительных количествах ионы тяжелых и редкоземельных металлов – стронция, свинца, марганца, бария, цезия. Павловния войлочная в разные периоды вегетации накапливает разное количество

UDC 635.96:632.95.028

**PAULOWNIA TOMENTOSA  
AS THE BIOLOGICAL  
INDICATOR OF THE DEGREE  
OF SOIL CONTAMINATION**

Tyshchenko Evgeniya  
Cand. Agr. Sci.  
Senior Research Associate  
of Laboratory of Varieties Studying  
and Breeding of Orchard Cultures

Yakuba Yuriy  
Cand. Tech. Sci., Docent  
Head of Center of Collective Using  
the Instrument and Analytical

*Federal State Budget Scientific  
Organization “North Caucasian  
Regional Research Institute  
of Horticulture and Viticulture”,  
Krasnodar, Russia*

The ability of certain species of plants to take from the soil and to accumulate the microelements, especially of ions of heavy metals, in the various parts has the great importance for cleaning of the land plots polluted by heavy metals, as result of active use of pesticides and agrichemicals. The Paulownia tomentosa can have value for these purposes. The purpose of research is to estimate the economic and biological potential of Pavlovniya as the bioindicator of degree of soils contamination in the areas of its growing. The analysis of microelements content in the different parts of Paulownia tomentosa (Thunb.) Stend.) are conducted for assessment of its economic and biological potential. It is established that Paulownia assists to concentrate in the wood the significant quantities of ions of heavy and rareearth metals – Sr, Mn, Ba, Cs etc. The Paulownia in the different periods of vegetation accumulates the different

микроэлементов. В свежих сочных побегах, листьях, цветках растения содержится достаточно высокое количество железа, особенно в первой половине вегетации. Содержание цинка также высокое в летний период, а к концу вегетации резко падает. Накопление этих элементов в растении зависит от их содержания в почве и биологической доступности. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что павловнию войлочную можно использовать в качестве биоиндикатора степени загрязненности почвы в местах её произрастания. Поиск растений, способных участвовать в фиторемедиации земель, – одно из перспективных направлений современных исследований в экологии. Данные исследования носят поисковый характер и свидетельствуют о необходимости более детального изучения потенциальных возможностей павловнии войлочной, в первую очередь – с хозяйственной точки зрения.

*Ключевые слова:* ПАВЛОВНИЯ ВОЙЛОЧНАЯ, МИКРОЭЛЕМЕНТЫ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, БИОИНДИКАТОР, ПОЧВА

number of microelements. Fresh juicy shoots, leaves and flowers of plant contain the high quantity of iron, especially in the first half of plant's vegetation. The content of zinc is also high in the summer, but in the end of vegetation its quantity falls sharply. The accumulation of these elements in the plant depends from their soil content and biological access. The results of the conducted research testify that the Paulownia tomentosa can be used as the biological indicator of degree of soil contamination in the places of its growing. Search of the plants capable to participate in a phytoremediation of lands is the one of the perspective directions of modern research in ecology. These research have the search character and testify about need of more detailed studying of potential opportunities of a pavlovniya tomentosa, first of all – from the economic point of view.

*Key words:* PAULOWNIA TOMENTOSA, MICROELEMENTS, HEAVY METALS, BIOLOGICAL INDICATOR, SOIL

**Введение.** Павловния войлочная (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Stend.) – высокодекоративное быстрорастущее дерево родом из стран Юго-Восточной Азии. Этот вид некоторые ботаники долгое время относили к семейству Бигнониевых (*Bignoniaceae*) [1, 2, 3]. Ряд специалистов считают павловнию представителем семейства Норичниковых (*Scrophulariaceae*) [4, 5, 6]. Но в последние годы этот род растений выделяют в самостоятельное семейство Павловниевые (*Paulowniaceae*), в которое включено 7 видов и 2 подвида (рис.) [7]. В условиях юга России павловния войлочная в зависимости от условий произрастания достигает высоты 12-20 м. Крона рыхлая, раскидистая. Листья очень крупные, широкосердцевидной формы с

опушением на длинных черешках, расположены супротивно. Листья распускаются в мае и опадают с наступлением первых заморозков.



Рис. Взрослое дерево павловнии войлочной в цветении

Павловния очень эффектна во время цветения. Ароматные цветки трубчато-колокольчатой формы, диаметром 5-6 см, окрашены в разные оттенки – от бело-голубого до нежно-фиолетового цвета со светло-желтым «мазком» в зеве цветка, собраны в крупные верхушечные соцветия метельчатого типа, достигающие 25-30 см. В условиях Кубани павловния зацветает обычно в конце мая. После цветения в августе развиваются новые соцветия и образуются цветочные бутоны, которые успешно перезимовывают и распускаются в мае следующего года.

У павловнии войлочной хорошо завязываются полноценные плоды. Плод павловнии – деревянистая коробочка яйцевидной формы длиной 3-4 см, чем-то похожая на орех. В конце января-февраля коробочка раскрывается на две створки, внутри коробочки располагается много мелких ( $d \sim 2-3$  мм) темно-коричневых семян, окруженных широким пленчатым

крылом, что позволяет ветру переносить семена на большие расстояния. Свежесобранные семена павловнии легко всходят. При посеве весной уже осенью этого же года можно получить достаточно крупные молодые саженцы, при этом отдельные могут достигать 1 м и более.

Павловния войлочная относится к одним из самых быстрорастущих древесных пород. Саженцы 2-х летнего возраста в питомнике достигают 3-4 м, развивая при этом мощную корневую систему. Этот вид очень неприхотлив и хорошо растет на самых разных почвах. В США, Испании павловнию используют для посадки на неплодородных истощенных почвах карьеров, вдоль дорог. Это растение отлично растет на свалках различного происхождения. Близкий вид – павловнию продолговатую (*Paulownia elongate*) – успешно используют даже для выращивания в лагунах, образованных сточными водами свинокомплексов [8].

Цель исследований – оценить хозяйственно-биологический потенциал павловнии войлочной как биоиндикатора степени загрязненности почв в местах произрастания.

**Объекты и методы исследований.** Объект исследования – растения павловнии войлочной из разных мест произрастания, свежие сочные побеги, листья, цветки, сухая древесина растения. Минеральный состав павловнии войлочной определяли после мокрого озоления общепринятыми методами на атомно-абсорбционном спектрофотометре Optima 2100 с погрешностью 1,5-2%.

**Обсуждение результатов.** В наших опытах павловнию войлочную мы исследовали на предмет содержания микроэлементов в различных органах растения. Как известно, содержание макроэлементов в растениях, хотя и колеблется в зависимости от видовой специфичности, характеризуется относительно близкими величинами, а различия в концентрации от-

дельных микроэлементов настолько велики, что придают черты химической неповторимости каждому определенному виду растений [9].

Как отмечают М.Я. Ловкова, А.М. Рабинович и др. (1989), существуют корреляции между накоплением в растениях определенных групп физиологически активных соединений и концентрированием в них микроэлементов.

Среди растений выделяются концентраторы и сверхконцентраторы тех или иных микроэлементов. Иногда растение способно накапливать в сверхдозах только один микроэлемент, а некоторые виды растений – несколько микроэлементов.

Эта способность растений широко изучается в связи с лекарственными свойствами различных видов растений. Кроме того, способность определенных видов извлекать из почвы и накапливать в различных частях растения микроэлементы, особенно ионы тяжелых металлов, имеет большое значение для очистки земель, загрязненных тяжелыми металлами в результате активного использования пестицидов и агрохимикатов.

Как известно, способ, при котором используют растения для очистки техногенно загрязненных участков, получил название фитовосстановление почвы [10]. В мировой практике для этого процесса часто используют и другой термин – фиторемедиация земель.

Как отмечают многие исследователи, для этого процесса идеальны быстрорастущие растения, создающие большую биомассу за короткий период. В США проводятся работы по созданию древесных пород, способных накапливать тяжелые металлы, для ремедиации земель, загрязненных ртутью и мышьяком [10, 11].

Ferguson B.W. считает перспективными исследования по созданию трансгенных растений в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды и для ремедиации загрязненных земель [12].

Ri-Qing Zhang, Chun-Fang, Shi-Zhi Wen и др. отмечают, что в Китае уже есть первые успехи в получении методом генной инженерии устойчивых к избытку тяжелых металлов растений [13].

В Таиланде также проводятся исследования по поиску растений, способных аккумулировать свинец. Подсолнечник рекомендуется как гипераккумулятор свинца и может быть использован для фитомелиорации земель, загрязненных свинцом [14].

На наш взгляд, павловния войлочная может иметь ценность для этих целей. Для оценки потенциала павловнии войлочной в качестве концентратора и сверхконцентратора различных микроэлементов был проведен анализ минерального состава данного растения. При исследовании свежих сочных молодых побегов, листьев, цветков павловнии войлочной выявлено разное содержание микроэлементов в раннелетний период (июнь) и в позднеосенний период (ноябрь) (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание микроэлементов в свежих сочных побегах, листьях, цветках павловнии войлочной в разный период вегетации, мг/кг, Краснодар, 2009

| Микроэлементы | Июнь 2009 г. |        | Ноябрь 2009 г. |        |
|---------------|--------------|--------|----------------|--------|
|               | Цветки       | Побеги | Листья         | Побеги |
| Железо        | 122,6        | 147,4  | 243,0          | 38,0   |
| Хром          | 10,65        | 10,65  | 2,9            | 1,26   |
| Медь          | 3,27         | 3,03   | 4,7            | 2,7    |
| Мышьяк        | 3,0          | 2,7    | 3,2            | 2,75   |
| Селен         | 0,15         | 0,30   | 1,7            | 1,11   |
| Кадмий        | 1,17         | 1,17   | 1,4            | 1,1    |
| Никель        | 2,85         | 4,08   | 2,8            | 0,14   |
| Марганец      | 1,65         | 4,41   | 13,0           | 9,4    |
| Барий         | 0,3          | 2,58   | 9,3            | 3,38   |
| Свинец        | 0,1          | 0,1    | 6,3            | 1,75   |
| Стронций      | 1,11         | 9,06   | 46,7           | 13,8   |
| Лантан        | 0,15         | 0,15   | -              | -      |
| Цинк          | 50,5         | 158,9  | 2,3            | 0,8    |
| Кобальт       | нет          | нет    | 0,7            | 2,6    |

Как видно из табл. 1, растение павловнии войлочной в разные периоды вегетации накапливает разное количество микроэлементов. Следует обратить внимание, что в свежих сочных побегах, листьях, цветках растения содержится достаточно высокое количество железа, особенно в первой половине вегетации. Содержание цинка также высокое в летний период, а к концу вегетации резко падает.

По мнению М.Я. Ловковой, А.М. Рабиновича и др. (1989), растения, концентрирующие в большом количестве железо в сочетании с высоким содержанием цинка и меди, могут представлять значительный интерес в качестве лекарственных растений [9].

При исследовании сухой древесины павловнии войлочной установлено, что указанное растение в процессе его жизнедеятельности способно концентрировать в древесине значительные количества тяжелых металлов (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание микроэлементов в сухой древесине павловнии войлочной из разных мест произрастания, мг/кг, декабрь, 2008

| Микроэлементы | Место расположения растений        |                                                               |
|---------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|               | г. Краснодар<br>«Садовый<br>центр» | х. Безлесный, Усть-Лабинский район,<br>ОПХ им. К.А.Тимирязева |
| Мышьяк        | нет                                | 10,7                                                          |
| Селен         | 10,0                               | 2,6                                                           |
| Цинк          | -                                  | 90,4                                                          |
| Кадмий        | 10,3                               | 3,8                                                           |
| Никель        | 6,2                                | 1,7                                                           |
| Марганец      | 294,0                              | 2,9                                                           |
| Свинец        | 138,0                              | нет                                                           |
| Барий         | 93,4                               | 4,4                                                           |
| Лантан        | нет                                | 0,6                                                           |
| Стронций      | 495,0                              | 3,2                                                           |
| Цезий         | -                                  | 392,0                                                         |

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что растения павловнии войлочной способны накапливать в древесине значительные количества различных микроэлементов, особенно таких как марганец, свинец, барий, селен, цезий, мышья.

Накопление тех или иных микроэлементов в растениях зависит от содержания этих элементов в почве и их биодоступности. Загрязнение земельных участков тяжелыми металлами происходит разными путями, в основном вследствие активной хозяйственной деятельности человека.

В сельскохозяйственном производстве процесс загрязнения земельных участков происходит из-за активного использования пестицидов и агрохимикатов [15]. В данном случае павловния войлочная выступает как биоиндикатор степени загрязнения конкретных мест произрастания. Кроме того, у павловнии очень легкая древесина, ее плотность в сухом состоянии около 320 кг/м<sup>3</sup>, но при этом весьма прочная и устойчивая против сырости и гниения [5, 16].

Древесину этого дерева, полученную с загрязненных участков, можно использовать для различных утилитарных целей. Например, для изготовления кольев с целью ограждения частных лесных участков. В это случае решается проблема утилизации загрязненной древесины и выполняются требования лесохозяйственных служб по обязательному устройству деревянных изгородей вокруг частных лесных угодий.

**Заключение.** Поиск растений, способных участвовать в фиторемедиации земель, – одно из перспективных направлений современных исследований в экологии. Данные исследования носят поисковый характер и свидетельствуют о необходимости более детального изучения потенциальных возможностей павловнии войлочной, в первую очередь – с хозяйственной точки зрения.

### Литература

1. Тахтаджан, А.Л. Цветковые растения / А.Л. Тахтаджан, А.А. Федоров [и др.] // Жизнь растений.– Т. 5.– Ч. 2.– М.: Просвещение, 1981. – 511 с.
2. Карпун, Ю.Н. Декоративная дендрология Северного Кавказа: Учебник / Ю.Н. Карпун, С.Б. Криворотов.– Краснодар, 2009. – 471 с.
3. Калущий, К.К. Древесные экзоты и их насаждения: Справочное издание / К.К. Калущий, Н.А. Болотов, Д.М. Михайленко. – М.: Агропромиздат, 1986. – 271 с.
4. Melhuish, J.H. Paulownia tomentosa seedling Growth at Differing Levels of pH, Nitrogen, and Phosphorus / J.H. Melhuish, Jr. C.E. Genry and P.R. Beckjord // Journal of Environmental Horticulture, 1990, vol. 8 № 4 (p. 205-207).
5. Колесников, А.И. Декоративная дендрология / А.И. Колесников.– М.: Изд-во Лесная промышленность, 1974. – 704 с.
6. Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР.– М.: Наука, 1975. – 547 с.
7. Ткаченко, К. Адамово дерево, или царственная павловния / К. Ткаченко.– В мире растений.– № 12.– 2013.– С. 26-29.
8. Bergmann, B.A. Potential of Paulownia elongate trees for swine waste utilization / B.A. Bergmann, A.R. Rubin, C.R. Campbell // Transactions of the Asae. General edition, november /december, 1997, vol. 40., № 6. p. 1733-1738.
9. Ловкова, М.Я. Почему растения лечат / М.Я. Ловкова, А.М. Рабинович, С.М. Пономарева [и др.]. – М.: Наука, 1989. – 256 с.
10. Ступин, Д.Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления: Учебное пособие.– СПб.: Изд-во Лань, 2009. – 432 с.
11. Merkle, S.A. Engineering Ferest Trees with Heavy – Metal Resistance Genes for Phytoremediation // NABC rep. / Nat. agr. Biotechnology council – Ithaca (N.Y.), 2005. – № 17; Agricultural biotechnology: beyond food and energy to health and the environment. – p. 117-121.
12. Ferguson, B.W. Systems Agriculture: Towards a Sustainable Agricultural and Environmental Policy // NABC rep. / Nat. agr. Biotechnology council – ithaca (N.Y.). 2005. – № 17; Agricultural biotechnology beyond food and energy to health and the environment. – p. 93-101.
13. Zhang, R.-Q. Advances in Research on Genetically Engineered Plants for Metal Resistance. / Ri-Qing Zhand, Chun-Fang Tang, Shi-Zhi Wen и др. // Journal of integrative Plant Biology. – 2006. – Nol. 48, № 11 - p. 1257-1265.
14. Benjaporn, B. Phytoaccumulation of lead by sunflower (*Helianthus annus*), tolacco (*Nicotiana tabacum*), and vetiver (*Vetiveria zizanioides*) / Boonyapookana Benjaporn, Parkpian Preeda, Techapinyawat Sambun, De Laune R.D. Jugsujinda Aroon. J.Environ. // Sci and Health. A. 2005. 40, №1, C. 117-137.
15. Воробьева, Т.Н., Волкова А.Н., Макеева А.Н., Богачева Л.В. Применение хроматографических методов для определения токсичных остатков в виноградовинодельческой продукции // Плодоводство и виноградарство Юга России [Электронный ресурс].– Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2014. – №25(1).– С. 134-143. Режим доступа: <http://www.journal.kubansad.ru/pdf/25/01/14.pdf>.
16. Древесные породы мира. Т. 2: Пер. с англ. / Под ред. д-ра экон. наук Г.И. Воробьева. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 352 с.

## References

1. Tahtadzhan, A.L. Tsvetkovye rasteniya / A.L. Tahtadzhan, A.A. Fedorov [i dr.] // Zhizn' rasteniy. – T. 5. – Ch. 2. – M.: Prosveschenie, 1981. – 511 s.
2. Karpun, Yu.N. Dekorativnaya dendrologiya Severnogo Kavkaza: Uchebnik / Yu.N. Karpun, S.B. Krivorotov. – Krasnodar, 2009. – 471 s.
3. Kalutskiy, K.K. Drevesnye ekzoty i ih nasazhdeniya: Spravochnoe izdanie / K.K. Kalutskiy, N.A. Bolotov, D.M. Mihaylenko. – M.: Agropromizdat, 1986. – 271 s.
4. Melhuish, J.H. Paulownia tomentosa seedling Growth at Differing Levels of pH, Nitrogen, and Phosphorus / J.H. Melhuish, Jr. C.E. Genry and P.R. Beckjord // Journal of Environmental Horticulture, 1990, vol. 8 № 4 (p. 205-207).
5. Kolesnikov, A.I. Dekorativnaya dendrologiya / A.I. Kolesnikov. – M.: Izd-vo Lesnaya promyshlennost', 1974. – 704 s.
6. Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR. – M.: Nauka, 1975. – 547 s.
7. Tkachenko, K. Adamovo derevo, ili tsarstvennaya pavlovniya / K. Tkachenko. – V mire rasteniy. – № 12. – 2013. – S. 26-29.
8. Bergmann, B.A. Potential of Paulownia elongate trees for swine waste utilization / B.A. Bergmann, A.R. Rubin, C.R. Campbell // Transactions of the Asae. General edition, november / december, 1997, vol. 40., № 6. p. 1733-1738.
9. Lovkova, M.Ya. Pochemu rasteniya lechat / M.Ya. Lovkova, A.M. Rabinovich, S.M. Ponomareva [i dr.]. – M.: Nauka, 1989. – 256 s.
10. Stupin, D.Yu. Zagryaznenie pochv i noveyshie tehnologii ih vosstanovleniya: Uchebnoe posobie. – SPb.: Izd-vo Lan', 2009. – 432 s.
11. Merkle, S.A. Engineering Ferest Trees with Heavy – Metal Resistance Genes for Phytoremediation // NABC rep. / Nat. agr. Biotechnology council – Ithaca (N.Y.), 2005. – № 17; Agricultural biotechnology: beyond food and energy to health and the environment. – p. 117-121.
12. Ferguson, B.W. Systems Agriculture: Towards a Sustainable Agricultural and Environmental Policy // NABC rep. / Nat. agr. Biotechnology council – Ithaca (N.Y.). 2005. – № 17; Agricultural biotechnology beyond food and energy to health and the environment. – p. 93-101.
13. Zhang, R.-Q. Advances in Research on Genetically Engineered Plants for Metal Resistance. / Ri-Qing Zhand, Chun-Fang Tang, Shi-Zhi Wen и др. // Journal of integrative Plant Biology. – 2006. – Nol. 48, № 11 - p. 1257-1265.
14. Benjaporn, B. Phytoaccumulation of lead by sunflower (*Helianthus annus*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), and vetiver (*Vetiveria zizanioides*) / Boonyapookana Benjaporn, Parkpian Preeda, Techapinyawat Sambun, De Laune R.D. Jugsujinda Aroon. J. Environ. // Sci and Health. A. 2005. 40, №1, c. 117-137.
15. Vorob'eva, T.N. Primenenie hromatograficheskikh metodov dlya opredeleniya toksichnykh ostatkov v vinogradovino-del'cheskoy produktsii / T.N. Vorob'eva, A.N. Volkova, A.N. Makeeva, L.V. Bogacheva // Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii [Elektronnyj resurs]. – Krasnodar: SKZNIISiV, 2014. – №25(1). – S. 134-143. Rezhim dostupa: <http://www.journal.kubansad.ru/pdf/25/01/14.pdf>.
16. Drevesnye porody mira. T. 2: Per. s angl. / Pod red. d-ra ekon. nauk G.I. Vorob'eva. – M.: Lesn. prom-st', 1982. – 352 s.