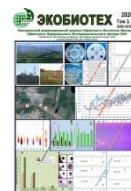




# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



## ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ПЛОЩАДЯХ УЧАЛИНСКОГО ГОРНО- ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

**Бахтина С.Ю.**

Башкирский государственный аграрный университет,  
Уфа (Россия)

\*E-mail: [svetlana.bakhtina@inbox.ru](mailto:svetlana.bakhtina@inbox.ru)

На территории Учалинского горно-обогатительного комбината (Южный Урал), загрязненной тяжелыми металлами, проведен анализ плотности древесины у 16 модельных деревьев четырех местообитаний сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Между этим показателем (в отдельных биотопах варьируется от  $406 \pm 1,0$  до  $520 \pm 2,0$  кг/м<sup>3</sup>) и средним годичным приростом в высоту (от  $34,2 \pm 1,2$  до  $62,4 \pm 3,2$  см) наблюдается отрицательная корреляция ( $r = -0,947$ ). На отвалах комбината с меньшим доступом к питательным веществам формируется древесина с более плотной древесиной, чем на участках со сформированной почвой. Полученные сведения доказывают сравнительно большой потенциал сосны обыкновенной для естественной фиторемедиации техногенных земель предприятий горнодобывающих промышленности, загрязняющих окружающую среду тяжелыми металлами.

*Ключевые слова:* сосна обыкновенная, тяжелые металлы, древесина, плотность.

## DENSITY OF SCOTS PINE WOOD ON TECHNOGENIC AREAS OF UCHALINSKY MINING AND PROCESSING PLANT

**Bakhtina S.Y.**

Bashkir State Agrarian University,  
Ufa (Russia)

\*E-mail: [svetlana.bakhtina@inbox.ru](mailto:svetlana.bakhtina@inbox.ru)

Wood density analysis of 16 model trees in four habitats of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) was carried out on the territory of the Uchalinsky mining and processing plant (the Southern Urals), contaminated with heavy metals. A negative correlation ( $r = -0.947$ ) was found between this indicator (it varies from  $406 \pm 1.0$  to  $520 \pm 2.0$  kg/m<sup>3</sup> in individual biotopes) and the average annual growth in height (it varies from  $34.2 \pm 1.2$  to  $62.4 \pm 3.2$  cm). Density of the wood is formed on the dumps of the plant with less access to nutrients, compared to areas with formed soil. The obtained data prove the relatively high potential of Scots pine for natural phytoremediation of technogenic lands of mining enterprises that pollute the environment with heavy metals.

*Keywords:* Scotch pine, heavy metals, wood, density

*Поступила в редакцию:* 15.09.2020

DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-4-660-666

### ВВЕДЕНИЕ

С быстрым развитием промышленности и сельского хозяйства загрязнение почв тяжелыми металлами стало глобальной экологической проблемой [Zhou, Song, 2004]. В отличие от органических загрязнителей, тяжелые металлы не разлагаются естественным путем или микробными сообществами и поэтому сохраняются в почвах в течение длительного периода времени [Liu, Chen, Cai, 2009]. В научной литературе приводится много сведений об этом, в том числе на примере горнодобывающей промышленности Южного Урала, являющейся крупнейшим поставщиком сырья для российской цветной металлургии [Абакумов и др., 2015; Ангелов и др., 2012; Баимова и др., 2010]. В этих работах отмечается, что в техногенной зоне ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» (далее УГОК), с 1954 г добывающего из полиметаллических руд медно-цинковый концентрат и серный колчедан, только в хвостохранилищах имеется около 50 миллионов тонн отходов объемом 25 миллионов кубических метров. В них содержатся 120396 и 247389 тонн не извлеченных

тяжелых металлов меди и цинка, соответственно. По расчетным данным, в прилегающих к хвостохранилищам промышленных отвалах общей площадью 1252 га сложены 164,3 миллионов кубических метров горных пород. Эти техногенные образования являются опасным источником поступления в окружающую среду тяжелых металлов – крайне токсичных промышленных поллютантов [Ngole-Jeme, Fantke, 2017].

Из-за необходимости больших затрат на техническую рекультивацию, в советский период активно изучались вопросы локальной искусственной и естественной лесной рекультивации техногенных земель [Гиниятуллин и др., 2018; Джайнаков и др., 2013]. Исследованы устойчивость и продуктивность тех или иных видов древесных растений, влияние физико-химических свойств грунтов на успешность облесения территорий, эффективность содействия человека зарастанию лесом промышленных отвалов, выполнение древесными растениями функций аккумуляции химических токсикантов (выполнения роли фиточистильщиков) [Кулагин, Тагирова, 2016]. Вторая «волна» аналогичных работ интенсифицировалась уже в зарубежных странах в связи с популяризацией идей фиторемедиации загрязненных земель растениями [Bolan, Park, Robinson, 2011; Caruana, 2011; Heckenroth, Rabier, Dutoit, 2016], в том числе древесными [Pulford, Watson C, 2003].

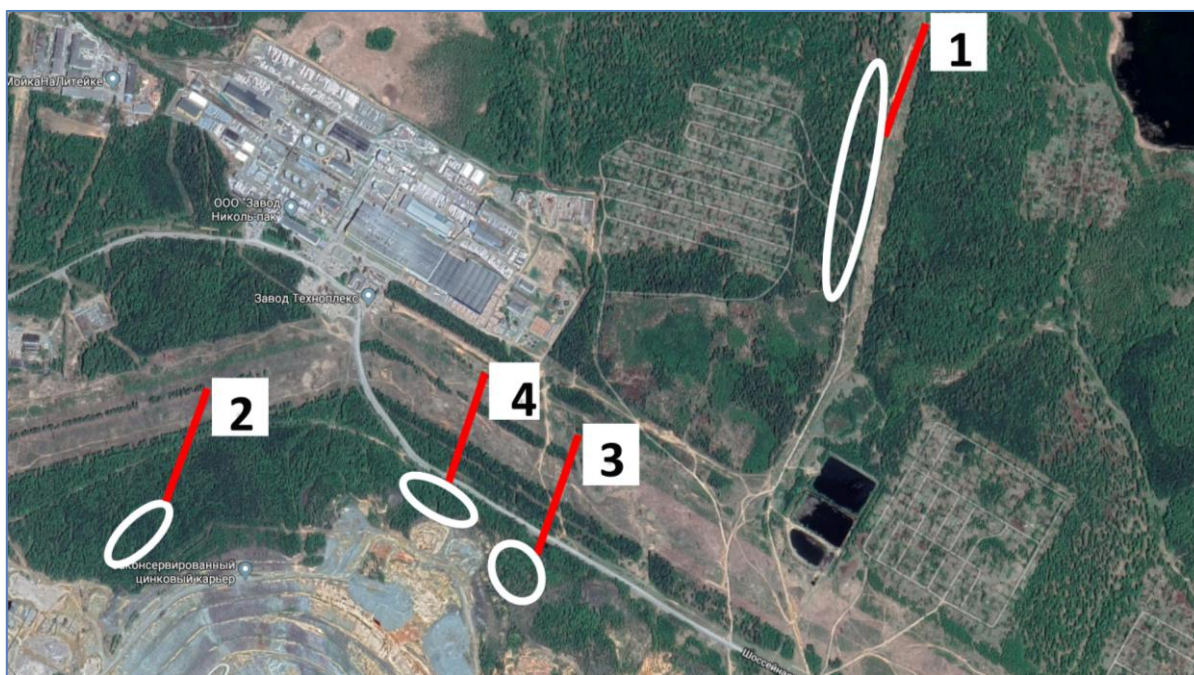
Результатом этой деятельности прогнозируется не только экологический эффект, но также возможность использования выращиваемой или «дикорастущей» растительной продукции. В случае древесных растений это биомасса, в первую очередь древесина, качество которой определяется ее физико-механическими или химическими свойствами. Наиболее интегральным признаком является плотность, которая имеет высокую корреляцию с другими параметрами [Сультсон, Романова, 2017].

Целью настоящей работы является анализ на территории комбината плотности древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), являющаяся ценным биоиндикатором состояния окружающей среды по своим биоэкологическим свойствам и длительности их жизненного цикла [Vaclavik, Kmeova, Janiga, 2016]. Вид занимает в Учалинском лесничестве 46680 гектаров (24,4 % лесопокрытой площади), уступая лишь березе повислой (64,9 %) и доминирует в насаждениях, окружающих УГОК. По этой причине, а также благодаря свойствам вида-пионера, сосна обыкновенная с самого начала образования комбината зарастает на его техногенных землях.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

После съемки техногенных земель УГОК с использованием беспилотного летательного аппарата DJI Phantom (SZ DJI Technology Co., Китай) и рекогносцировочного обследования местности на северной и северо-восточной окраине промышленных отвалов (Рис. 1) были подобраны относительно однородные древостои возрастом около 30-40 лет, близкими полнотой и составом. В них заложены четыре пробные площади (ПП) с географическими координатами 54°19'32.1 N, 59°26'47.4 E (ПП1), 54°19'07.4 N, 59°25'14.7 E (ПП2), 54°19'10.5 N, 59°25'51.7 E (ПП3) и 54°19'05.2 N, 59°26'01.8 E (ПП4). Участки отличаются по экологическим условиям. Пробная площадь 1А, расположенная в 1,5 км от отвалов, является условным контролем, менее доступным для загрязнения рассеивающимися тяжелыми металлами. Участки 1В и 3С находятся у подножия отвалов, но на элементах рельефа, в разной степени доступных для загрязнения сточными водами с поверхности и толщи этих техногенных образований [Абакумов и др., 2015]. В этих древостоях имеется почва. Пробная площадь 1D представляет древостой, где деревья произрастают не на почвах,

а на почвогрунтах и органических остатках, заполнивших пространство между обломками вскрышных пород. Экспозиция северо-восточная, крутая (около 30-45°).



**Рис. 1. Схематическое размещение пробных площадей сосны обыкновенной**

На каждой пробной площади выбраны по 4 биотопа, сравнительно однородные по глубине почвы, условиям освещенности (из-за сравнительно равной густоты и пространственной равномерности части древостоя), возрасту и диаметру на высоте груди деревьев. В каждом из них отобрано по одному модельному дереву (всего 16, отбор среднего растения проведен после измерения диаметров не менее чем 30 деревьев). У спиленных модельных деревьев в разных частях хлыстов (начиная с уровня земли, с интервалом в 1 м) были взяты по 4 образца для измерения плотности древесины. У каждого из 16 модельных деревьев по мутовкам с минимальным шагом в 1 см измерена величина годичного прироста в высоту 2004-2019 гг.

Определение плотности производили в соответствии с ГОСТ 16483.1-84 (Древесина. Метод определения плотности) в древесине, близкой к абсолютно сухому состоянию. Для этого из образцов (по 4 с одного дерева на разных высотах, начиная с уровня земли, с шагом в 1 м), были подготовлены кубики размерами в 20x20 мм и гладко остроганными гранями. Образцы высушивали в лабораторном сушильном шкафу СЭШ-80-01 при постоянной температуре 103<sup>0</sup>С, далее в эксикаторе с силикагелем. Измерения линейных размеров проводили штангенциркулем, массы – на аналитических весах Adventurer (Ohaus, США).

Для обработки полученных данных использована программа STATISTICA 13.3. Определялись средняя плотность древесины, ее ошибка, коэффициент вариации в %, статистическая достоверность различий средних величин, коэффициент корреляции плотности древесины и годичного прироста в высоту.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На пробных площадях 1А и 1В средняя плотность древесины практически одинакова (Таблица 1). Его варьирование в пределах дерева является сравнительно небольшим – коэффициент вариации составил 1,2-9,54 %%. На участке 1С, расположенном у подножия шлаковых отвалов, куда поступают кислые воды с высоким содержанием тяжелых металлов

[Абакумов и др., 2015], показатель выше в 1,2 раза, чем в выборках 1А и 1В. Он достигает максимума на участке 1D, лишенной почвы. Различия средней плотности древесины на пробных площадях были статистически недостоверными в парах 1А/1В ( $p = 0,286$ ) и 1С/1D ( $p = 0,209$ ). Но в парах 1А/1С, 1А/1D, 1В/1С и 1В/1D, наоборот, все они становятся достоверными ( $p < 0,01$ ).

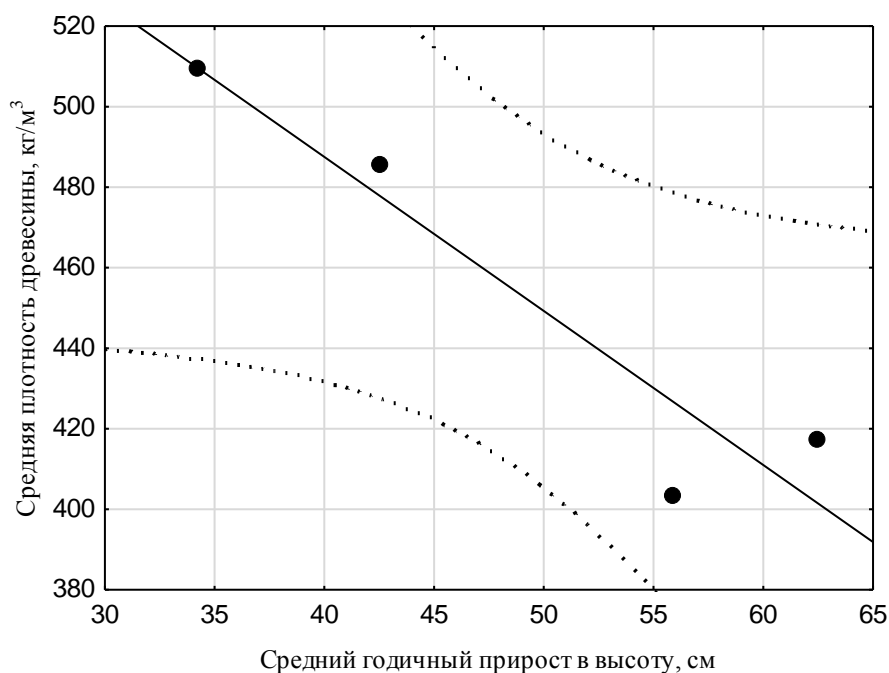
**Таблица 1. Плотность древесины сосны обыкновенной на пробных площадях**

Модельные деревья (МД)	Показатели выборок		
	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пределы изменения признака	Коэффициент вариации, %
	Пробная площадь 1А		
1	406±0,4	394-419	1,20
2	434±0,6	403-434	3,16
3	398±1,7	361-453	9,54
4	431±1,4	408-467	6,31
	Пробная площадь 1В		
5	418±1,7	397-470	8,28
6	407±0,3	401-416	1,70
7	444±1,1	421-483	5,76
8	346±0,6	336-364	3,64
	Пробная площадь 1С		
9	478±0,4	463-489	2,34
10	488±0,8	478-504	2,87
11	493±1,0	482-513	3,47
12	484±0,8	475-501	3,00
	Пробная площадь 1D)		
13	479±1,1	459-498	4,08
14	453±1,2	436-476	4,53
15	538±1,3	513-556	4,15
16	568±2,8	531-622	8,42
	Пробные площади		
1А (МД 1-4)	411±0,6	361-467	6,33
1В (МД 5-8)	406±1,0	336-483	10,54
1С (МД 9-12)	485±0,1	463-513	2,80
1D (МД 13-16)	520±2,0	436-622	11,31
	Общая выборка		
МД 1-16	446±0,7	336-622	12,74580

Годичный прирост в высоту на пробных площадях 1А, 1В, 1С и 1D составил значения 62,4±3,2 (коэффициент вариации 16,2±2,7%), 55,9±4,1 (22,5±4,1%), 42,54±1,9 (23,7±3,3%) и 34,2±1,2 (24,9±2,8%) см, соответственно. Он достигает 89,6, 68,1 и 54,8% от величины показателя площади 1А. Различия выборок значимы при  $p < 0,01$ . Эти различия отмечаются в условиях относительно равномерного распределения металлов в исследованной территории. На территории УГОК в верхнем слое почвы подвижные формы меди и цинка достигают 22,5 и 2,6 предельно допустимых концентраций, соответственно, в радиусе до 5 км от комбината [Абакумов и др., 2015].

Между средней плотностью древесины и средним годичным приростом в высоту наблюдается отрицательная корреляция ( $r = 0,947$ ) на уровне, близком к 5%-ному порогу ( $p = 0,053$ ). При исключении из корреляционного анализа выборки 1А корреляция статистически достоверна ( $r = 0,999$ ,  $p = 0,026$ ). На Рис. 2 приведены доказательства существенной

корреляции плотности древесины и годичного прироста в высоту (пунктирными линиями приведены границы 95%-ного доверительного интервала).



**Рис. 2. Корреляция плотности древесины и годичного прироста в высоту**

Анализ литературы показывает, что в природных условиях плотность древесины сосны обыкновенной варьируется в широких пределах в зависимости от самых разных условий. Потомства сосны, характеризующиеся интенсивным ростом, формируют менее плотную древесину [Данилов и др., 2017; Зайцев и др., 2018]. В целом, показатель с возрастом повышаются до некоторого предела, а затем при дальнейшем стоянии дерева на корню начинает снижаться. В работе [Данилов и др., 2015] показано, что физико-механические свойства древесины сосны достигают максимума в возрасте 150-200 лет, после чего следует снижение; в возрасте 260—280 лет плотность падает на 8-10%. С учетом этой закономерности и того, что возраст исследованных нами модельных деревьев существенно ниже (на пробных площадях 1А, 1В, 1С и 1D средний возраст  $18,5 \pm 0,3$ ,  $18,5 \pm 0,5$ ,  $28,2 \pm 3,0$  и  $37,5 \pm 0,3$  лет), следует признать, что на отвалах УГОК формируется древесина с более плотной древесиной, чем в природных условиях.

Существенные различия выборок по плотности древесины в условиях этого относительно равномерного распределения этих токсикантов на исследованной территории свидетельствуют, что не они являются основной причиной этих различий. Сравнительно большой годичный прирост в высоту на пробной площадке 1А (в среднем  $62,4 \pm 3,2$  см в год) является аргументом в пользу этого предположения. Минимальный прирост в высоту отмечен на участке 1D, где деревья заселили местообитание с практически полным отсутствием почвы. Эта картина в целом соответствует закономерностям, наблюдающимся в природных условиях – в относительно благоприятных экологических условиях формируется менее плотная древесина и наоборот [Сультсон, Романова, 2017].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Участки зарастания лесом представлены как горными почвами с низкой мощностью гумусового горизонта, так и нарушенными землями с почвоподобными телами с неразвитым

профилем, слабой поглощающей и очищающей способностью. Возможно, доступность питательных веществ, как и в природных условиях, определяет выявленные нами различия местообитаний по этому показателю и плотности древесины. В целом, сосна обыкновенная подтвердила свой большой потенциал для естественной фиторемедиации техногенных земель предприятий горнодобывающих промышленности, загрязняющих окружающую среду тяжелыми металлами. Этот процесс представляет экономически эффективную и экологически чистую альтернативу искусственным технологиям восстановления нарушенных земель. Кроме этого, со временем из техногенных условий возможно получение древесных лесоматериалов с высокими прочностными свойствами и стойкостью к загниванию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.В., Суюндуков Я.Т., Биктимерова Г.Я. и др. Экологическая и санитарная характеристика отвалов карьеров по добыче медного колчедана // Гигиена и санитария. 2015. № 6. С. 46–50.
2. Ангелов В.А., Ангелова Е.И., Аверьянов К.А. Изучение особенностей вещественного состава хвостов обогащения медно-колчеданных руд Учалинской обогатительной фабрики // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 5. С. 362–368.
3. Баимова С.Р., Редькина Н.Н., Янбаев Ю.А. и др. Тяжелые металлы в системе «почва-растения-животные» в условиях Башкирского Зауралья // Троицк: Уральская государственная академия ветеринарной медицины. 2010. С. 140.
4. Гиниятуллин Р.Х., Кулагин А.А., Зайцев Г.А., Бактыбаева З.Б. Санитарно-защитные насаждения лиственницы Сукачёва (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра: состояние и особенности накопления тяжёлых металлов // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 9. С. 819–824.
5. Данилов Д.А., Беляева Н.В., Зайцев Д.А., Иванов А.А. Анализ связей показателей строения и плотности древесины сосны на объектах ухода в черничном осушенном типе леса // В книге: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы второй международной научно-технической конференции. 2017. С. 64–66.
6. Данилов Д.А., Зайцев Д.А., Поляков А.С. Плотность древесины сосны в различных типах леса, в чистых и смешанных древостоях лесного массива "Кургинский лес" // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. № 41. С. 11–12.
7. Джайнаков Д.Ш., Зейферт Д.В., Кулагин А.Ю. Анализ факторов, влияющих на динамику видового состава индикаторных групп энтомофауны на участках рекультивированных лесонасаждений // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 2. С. 148–152.
8. Зайцев Д.А., Данилов Д.А., Беляева Н.В. Особенности формирования плотности древесины сосны и ели в незатронутых хозяйственным воздействием смешанных древостоях // В сборнике: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы третьей международной научно-технической конференции. 2018. С. 119–122.
9. Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Лесные насаждения как фактор оптимизации состояния окружающей среды урбанизированных территорий Башкирского Зауралья // В сборнике: Хартия Земли – практический инструмент решения фундаментальных проблем устойчивого развития. Сборник материалов международной научно-

- практической конференции, посвященной 15-летию реализации принципов Хартии Земли в Республике Татарстан. 2016. С. 160–163.
10. Сулытсон С.М., Романова Л.И. Влияние условий произрастания на плотность древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестник современных исследований. 2017. № 9-1 (12). С. 46–49.
  11. Bolan N.S., Park J.H., Robinson B. et al. Phytostabilization // A green approach to contaminant containment // Advances in Agronomy. 2011. V. 112. P. 145–204.
  12. Capuana M. Heavy metals and woody plants - biotechnologies for phytoremediation // iForest. 2011. V. 4. P. 7–15. DOI: [10.3832/ifor0555-004](https://doi.org/10.3832/ifor0555-004)
  13. Heckenroth A., Rabier J., Dutoit T. et al. Selection of native plants with phytoremediation potential for highly contaminated Mediterranean soil restoration: tools for a non-destructive and integrative approach // Journal of Environmental Management. 2016. V. 183. P. 850–863. DOI: [10.1016/j.jenvman.2016.09.029](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.029)
  14. Kuang Y. W. Distribution of elements in needles of *Pinus massoniama* (Lamb.) was uneven and affected by needle age // Environmental Pollution. 2006. V. 145 (1). P. 146–153. DOI: [10.1016/j.envpol.2006.03.026](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.026)
  15. Liu L., Chen H., Cai P. et al. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost // J. Hazard Mater. V. 163 (1-2). 2009. P. 563–567. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2008.07.004](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.004)
  16. Morling T. Evaluation of annual ring width and ring density development following fertilisation and thinning of Scots pine // Annals of Forest Science. V. 59 (1). 2002. P. 29–40. DOI: [10.1051/forest:2001003](https://doi.org/10.1051/forest:2001003)
  17. Ngole-Jeme V.M., Fantke P. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil // PLoS One. 2017. V. 12 (2). DOI: [10.1371/journal.pone.0172517](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172517)
  18. Pulford I.D., Watson C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review // Environment International. 2003. V. 29 (4). P. 529–540. DOI: [10.1016/S0160-4120\(02\)00152-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00152-6)
  19. Václavík P., Kmeťová M., Janiga M. Heavy metals and other elements in the *Pinus sylvestris* needles – Ružomberok // Oecologia Montana. 2016. V. 25 (1). P. 33–38.
  20. Zhou Q. and Song Y. Remediation of Contaminated Soils: Principles and Methods. Science Press: Beijing, 2004.
  21. Zhu J.Y., Scott C.T., Scallon K.L., Myers G.C. Effects of plantation density on wood density and anatomical properties of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) // Wood and fiber science. V. 39 (3), 2007. P. 502–512.