

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ РАСТЕНИЕ–ПОЧВА

М.В. Медведева, Т.С. Титова, О.Н. Бахмет, А.Н. Пеккоев, В.А. Харитонов

Институт леса Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Петербургский государственный университет путей сообщения им. Александра I

Показано, что химический состав опада и древесины лиственных и хвойных деревьев различный. На фоне аэротехногенного загрязнения отмечали накопление отдельных тяжелых металлов, увеличение зольности. Выявили антропогенную динамику накопления тяжелых металлов в древесине деревьев: максимальное количество в период тепловозной тяги; по мере электрификации железнодорожного узла аккумулятивное элементов снижается. Полученные данные можно рекомендовать использовать при фиторемедиации на объектах, подверженных загрязнению. Они станут основой при оценке фитоэкстрактивного потенциала древесных растений, в диагностике аэротехногенного загрязнения природной среды, позволят решить проблему уменьшения экологических рисков, а также при модернизации и планировании природоохранных мероприятий в сфере железнодорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, опад растений, древесина, почва, тяжелые металлы

Investigation of the Influence of Aerotechnogenic Pollution on the Accumulation of Heavy Metals in the Plant-Soil System

M.V. Medvedeva, T.S. Titova, O.N. Bakhmet, A.N. Pekkoev, V.A. Kharitonov

Forest Institute of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 185910 Petrozavodsk, Russia, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University 190031 Saint Petersburg, Russia

It is shown that the chemical composition of the litter falls and wood of deciduous and coniferous trees is different. On the background of aerotechnogenic pollution, accumulation of individual heavy metals, an increase in ash content was noted. There was revealed the anthropogenic dynamics of the accumulation of heavy metals in the wood of trees: the maximum number during the period of diesel traction; as the railway site is electrified, the accumulation of elements decreases. The obtained data can be recommended to be used for phytoremediation at sites subject to pollution. The obtained data will be the basis for assessing the phytoextractive potential of woody plants, in diagnosing aerotechnogenic pollution of the environment, solving the problem of reducing environmental risks, as well as during the modernization and planning of environmental measures in the field of railway infrastructure.

Keywords: railway infrastructure, litter falls, wood, soil, heavy metals

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-06-52-57

Известно, что устойчивость фитокомплекса к аэротехногенному загрязнению определяется множеством факторов, наиболее важными из которых являются типы растительности и почв [1]. Плодородие почв определяет состояние микробного сообщества, которое способно аккумулировать и выводить тяжелые металлы (ТМ) из сферы микробной трансформации органического вещества, созда-

вать условия для развития растений. Состояние последних зависит от способности самого фитоценоза аккумулировать ТМ кроной, корневой системой и стволем. Растения имеют различные механизмы, которые препятствуют проникновению металлов в их органы и ткани. Известно, что у древесных пород с улучшением условий роста происходит увеличение годичного прироста по радиусу ствола [2, 3], что

связано с сочетанием ряда эдафических и экологических факторов. Напротив, аэрополлютанты, мелкодисперсные частицы неполного сгорания топлива и другие вредные вещества, образующиеся в результате работы подвижного состава железнодорожного транспорта, оказывают негативное воздействие на рост древесных насаждений [4].

В связи с тем, что железнодорожная инфраструктура ока-

зывает сложное влияние на экосистему, исследования требуют детального анализа элементного состава опада и древесины, а также пространственно-временной динамики его изменения. Цель данной работы — исследование содержания ТМ в различных компонентах экосистемы, расположенных в зоне воздействия железнодорожного транспорта, что предусматривало изучение накопления ТМ в опаде и древесине видов-эдификаторов, находящихся в условиях аэротехногенного загрязнения.

Полученные данные можно применять при оценке фитоэкстрактивного потенциала древесных растений, диагностике аэротехногенного загрязнения природной среды. Они позволяют решить проблему уменьшения экологических рисков, способствовать модернизации и планированию природоохранных мероприятий в сфере железнодорожной инфраструктуры. Способность растений улавливать ТМ из окружающей среды может быть использована при фиторемедиации на объектах, подверженных загрязнению [5–7].

Объекты и методика

Исследование проводили на территории города Петрозаводска. На разном расстоянии от железной дороги было заложено 4 опытных участка (40, 80, 120, 160 м) в направлении с северо-востока на юго-запад (рис. 1).

На участках 1 и 2 древостой представлены 50-летними осинниками порослевого происхождения (см. таблицу). Под пологом осины формируется второй ярус из елового тонкомера и подроста. Общий запас древесины на участках составляет около 200 м³/га. В подлеске присутствуют рябина, ива, ольха и черемуха. На участках 3 и 4 древостой относятся к условно-разновозрастным ельникам. Ель представлена широким возрастным диапазоном от подроста и тонкомера до 150-лет-

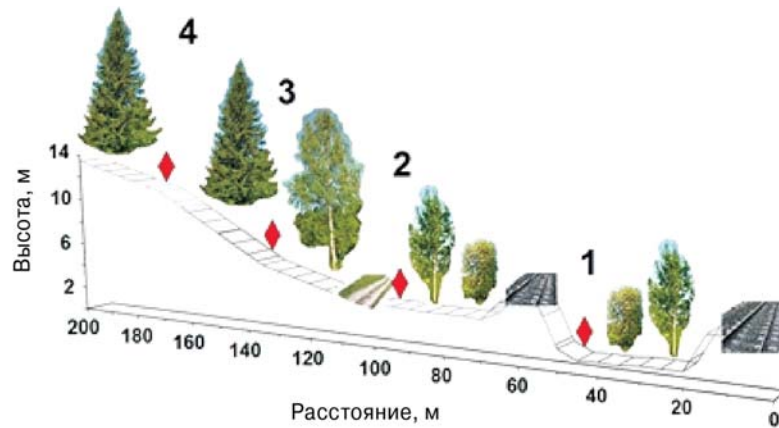


Рис. 1. Схема расположения опытных участков 1–4

Fig. 1. Layout of experimental plots 1–4

них экземпляров, наибольшее количество деревьев ели имеет возраст в пределах 100–120 лет. У сосны одно поколение — 120 лет, возраст березы и осины составляет 70–90 лет, поэтому большинство деревьев осины поражены осиновым трутовиком. Суммарный запас древесины составляет до 400 м³/га.

Подробная характеристика участков и свойства почв были представлены в предыдущих работах авторов [8]. Было установлено накопление ТМ (цинка, меди, свинца и никеля) в почвах, расположенных в градиенте концентрации аэрополлютантов железнодорожного транспорта. В этой связи

для исследования были выбраны ТМ, роль которых в качестве микроэлементов в наземных экосистемах и негативное влияние в составе аэрополлютантов на почвенную биоту общеизвестно. В ходе данного исследования на каждом участке проводили отбор образцов опада растений-эдификаторов для химических анализов, в которых определяли зольность, содержание элементов-биофилов (N, С), а также ТМ.

На исследуемых участках выполнен комплекс лесотаксационных работ, произведен отбор образцов древесины для определения содержания ТМ и анализа динамики радиального

Таксационная характеристика древостоев на исследуемых участках
Taxation characteristics of tree stands on the studied sites

Участок	Расстояние от ж/д полотна, м	Тип леса	Состав насаждения*	Древостой			
				Густота, тыс. шт./га	Диаметр, см	Высота, м	Запас, м ³ /га
1	40	Осинник	10Ос ед.Е	0,6	21,2	20,9	217
				0,1	6,0	7,0	1
2	80	Осинник	80с 1Ол 1Ив+Е, Б ед.С	1,0	16,5	15,9	164
				0,3	10,9	10,0	17
				0,2	13,3	12,0	18
				0,3	8,2	8,2	7
				0,3	7,1	8,0	6
				0,1	4,0	5,0	0,5
3	120	Ельник	5Е 2С 2Ос 1Б	0,5	23,4	21,0	218
				0,1	38,3	27,5	100
				0,1	29,9	24,0	91
				0,1	18,9	18,7	24
4	160	Ельник	5Е 2С 2Б 1Ос	0,4	25,9	22,0	199
				0,05	40,5	28,0	91
				0,1	25,0	22,7	74
				0,1	28,0	22,7	55

*Ос – осина; Е – ель; С – сосна; Б – береза; Ол – ольха.

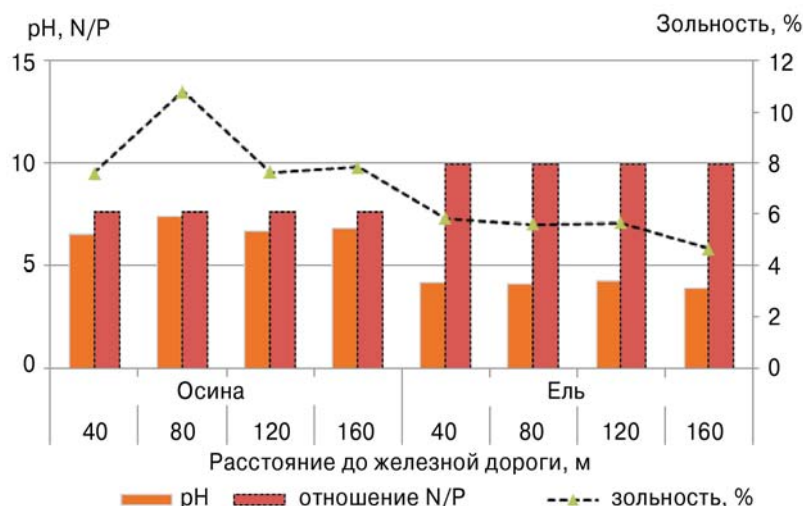


Рис. 2. Зависимость pH, N/P и зольности опада растений от расстояния до железной дороги

Fig. 2. Dependence of pH, N/P and ash content of plants litter on the distance to the railway

прироста. Последнее позволило выявить особенности роста деревьев в связи с различной удаленностью от железной дороги и видами применяемой тяги. При этом учитывали год перехода исследуемого участка железной дороги с паровозной тяги на тепловозную (1959 г.) и с тепловозной на электрическую (2006 г.) [9,10].

Определение содержания ТМ в опаде и древесине проводили атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре AA-7000 пламенной атомизации (Shimadzu, Япония) в

ЦКП "Аналитическая лаборатория" ИЛ КарНЦ РАН.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали изменение кислотно-щелочных свойств опада ели и сосны в зависимости от расстояния до железнодорожного полотна (рис. 2). Отмечена тенденция уменьшения кислотности на участках, наиболее приближенных к железной дороге. Показателем процессов деструкции органического вещества в почве является отно-

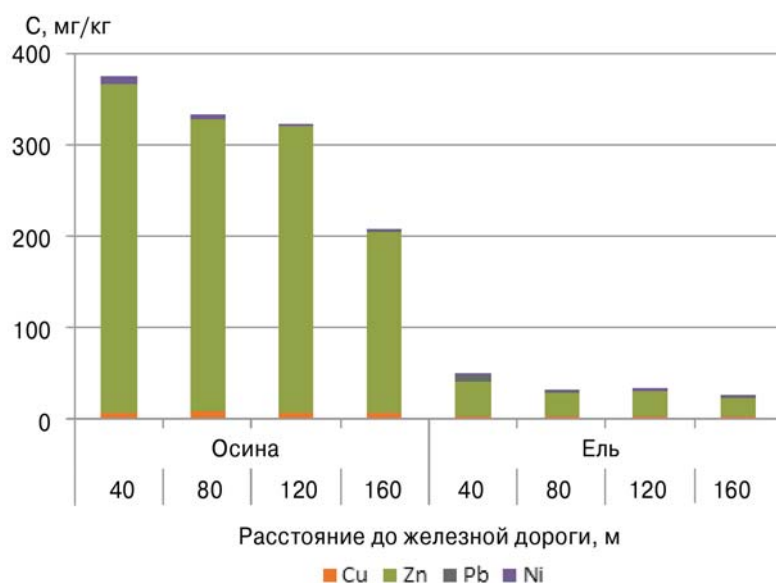


Рис. 3. Содержание ТМ в опаде растений, произрастающих в зоне аэротехногенного загрязнения

Fig. 3. Content of HM in the plants litter growing in the zone of aerotechnogenic pollution

шение элементов N и P в опаде. Величина данного показателя зависела в большей мере от древесной породы, чем от градиента загрязнения. В опаде осины отношение N/P было ниже, чем в опаде ели. Снижение содержания беззольной компоненты в опаде исследуемых растений по мере приближения к источнику аэротехногенного загрязнения происходило на уровне тенденции.

ТМ в органы растений попадают как из почвы через корневые системы, так и из воздушных потоков через листья (фолиарное поглощение). Непосредственную роль в количестве поллютантов, поступающих в растения, играет их близость к источнику эмиссии (загрязнения). Величина фолиарного поглощения зависит от биологических особенностей древесной породы, площади ассимилирующей поверхности дерева и его физиологического состояния. Увеличение содержания ТМ в опаде растений, произрастающих на участках импактной зоны, подтверждало это (рис. 3). При этом необходимо подчеркнуть, что рост содержания ТМ в опаде, возможно, связан со снижением кислотности опада, о котором говорилось выше, увеличением микробиологической активности почв, а, следовательно, синтезом собственно органического вещества почв. Именно последнее может способствовать возрастанию миграционной способности и аккумуляции данных элементов в отдельных звеньях трофической цепи [11]. Как известно, защитная функция корневых систем растений от негативного воздействия ТМ обеспечивается клетками пояса Каспари, которые препятствуют продвижению вещества по межклеточному пространству и ограничивают поступление их в проводящие ткани [12].

В настоящее время применяют различные шкалы оценки допустимых уровней концентраций ТМ в почве и растениях [13–15]. Однако все они узко-

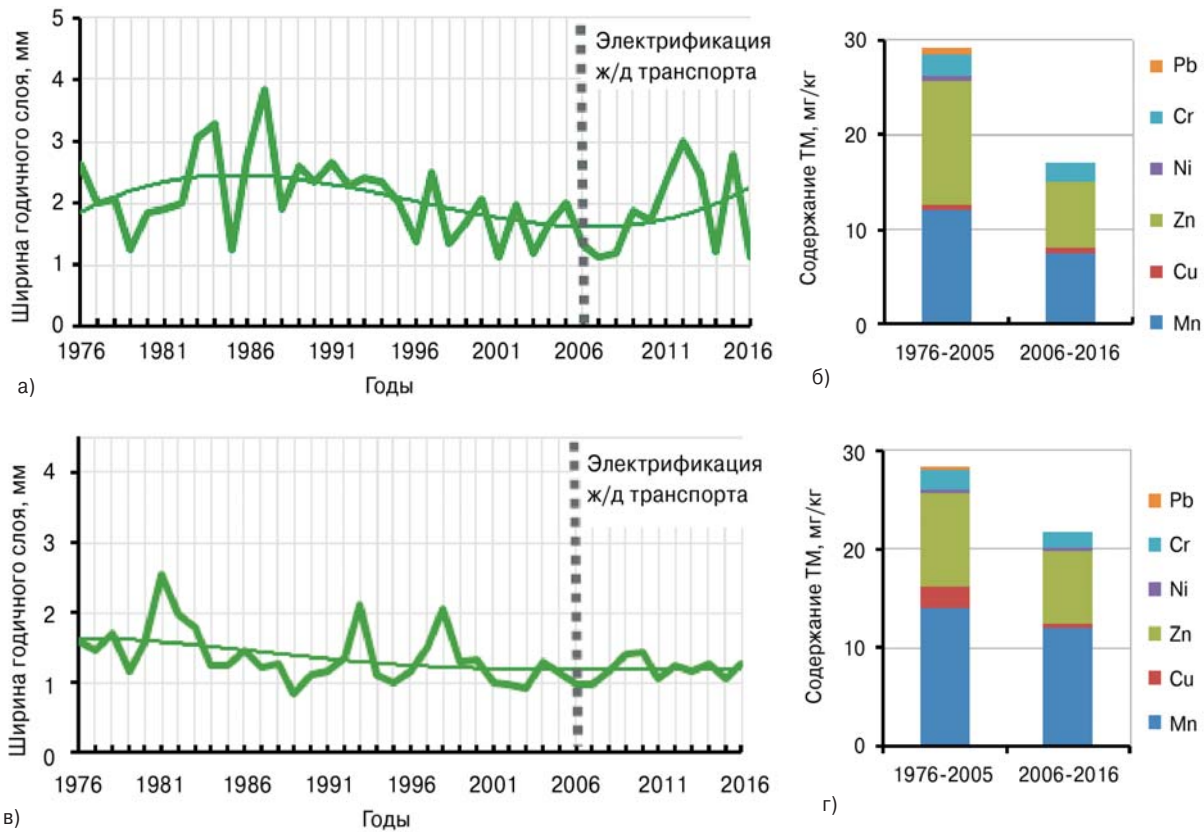


Рис. 4. Радиальный прирост осины, произрастающей на расстоянии 40 м (а) и 80 м (в) от железной дороги, и содержание ТМ в древесине в разные периоды (б, г)

Fig. 4. Radial growth of aspen growing at a distance of 40 m (a) and 80 m (c) from the railway, and the content of HM in the wood at different periods (b, d)

специализированы, в связи с чем имеют широкую вариабельность допустимых значений, поэтому в наших исследованиях при экологической оценке уровня загрязнения авторы использовали их фрагментарно.

Результаты исследований показали, что в опаде листовых пород содержание ТМ существенно выше, чем в опаде хвойных пород (по никелю в 1,8, меди в 3,5 и цинку в 10,5 раза). Исключением являлось содержание свинца, которого в опаде ели было в 5,5 раз больше, чем в опаде осины. По мере удаления от железнодорожного полотна содержание ТМ в опаде уменьшалось. По шкале оценки содержания ТМ в растениях [13, 14] концентрации меди, свинца и никеля были в пределах нормы. В то же время концентрация цинка в опаде осины достигала фитотоксичного уровня и в два раза превышала нормальное

содержание на расстоянии до 120 м от железной дороги.

Радиальный прирост осины, произрастающей на расстоянии 40 м от железной дороги, снижился в период с 1987 до

2008 гг. в среднем на 5 % ежегодно (рис. 4). При устранении основного источника вредных выбросов, связанного с переходом железнодорожного транспорта на электрическую



Рис. 5. Радиальный прирост древесных пород, произрастающих на расстоянии 120 м от железной дороги:

1 – ель; 2 – береза

Fig. 5. Radial growth of tree species growing at a distance of 120 m from the railway:
1 – spruce; 2 – birch

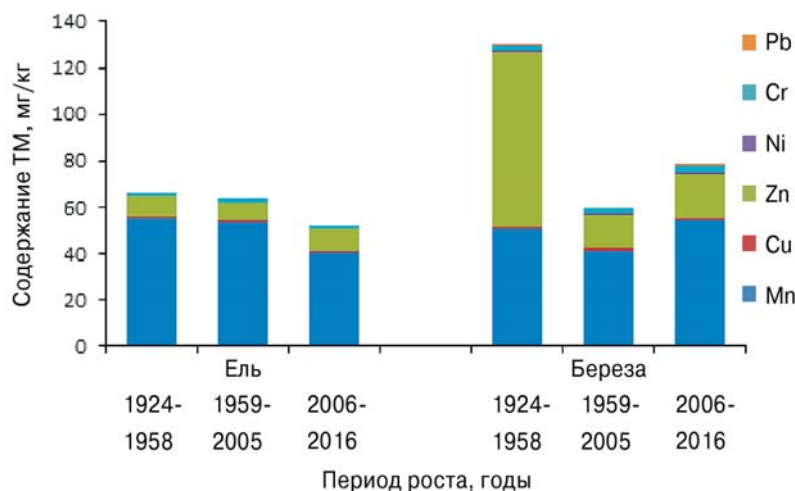


Рис. 6. Содержание ТМ в древесине ели и березы, произрастающих на расстоянии 120 м от железной дороги в различные периоды роста
Fig. 6. The content of HM in the wood of spruce and birch growing at a distance of 120 m from the railway at different periods of growth

тягу, наметилась тенденция увеличения радиального прироста. Содержание ТМ в древесине при этом сократилось, особенно Mn и Zn. Наличие свинца в древесине деревьев в переходный к электрификации период не зафиксировано.

Несколько иную динамику прироста древесины осины наблюдали при удалении от источника эмиссии на 80 м (см. рис. 4). Изменение ширины годичного слоя в результате предполагаемого улучшения экологических условий, связанного с электрификацией железнодорожного транспорта и со снижением концентрации ТМ в воздухе, в этом случае не выявлено. Это связано, возможно, с более высокой плотностью осинника и присутствием в составе насаждения сопутствующих пород (ольхи, ивы, березы и др.), приводящем к усилению внутри- и межвидовой конкуренции за элементы минерального питания.

На участках, расположенных на расстоянии более 120 м, произрастают древесные растения 100–150-летнего возраста. Различная интенсивность роста по диаметру разных пород связана с их биоэкологическими особенностями, а также с режи-

мом эксплуатации железной дороги и типом применяемой тяги (рис. 5).

До начала 1960-х гг. в период применения паровозной тяги, работающей за счет сжигания каменного угля, обследованные древостои представляли смешанные по составу средневозрастные насаждения. На рубеже 1940-х гг. наблюдается снижение их прироста, что, по-видимому, обусловлено увеличением грузопотока по железной дороге в предвоенные и последующие годы. При этом в данный период у всех обследованных древесных пород обнаружена тенденция более высокого содержания ТМ в древесине (рис. 6). С.И. Снежко, О.Г. Шевченко указывали, что сжигание каменного угля и мазута являются главным источником поступления ТМ в атмосферу [16]. В древесине березы зафиксировали наибольшее депонирование цинка, который относится к эссенциальному элементу, группе сильного накопления.

Заключение

Елово-лиственные насаждения играют положительную роль в фиксации ТМ. Их по-

глошение зависит от породного состава древостоев, биологических особенностей растений, а также содержания поллютантов в атмосфере и в почве. В целом электрификация железнодорожного транспорта оказывает положительный эффект на снижение содержания ТМ в окружающей среде.

Рассмотренные материалы комплексных исследований отдельных механизмов транслокации ТМ в системе почва–растение указывают, что на данном этапе ценогенеза лесных сообществ негативное влияние аэрополлютантов не достигает значений, при которых возможно необратимое нарушение буферных свойств природной среды. Так, содержание меди, марганца и свинца не достигало предельно допустимых концентраций (ПДК). Концентрация цинка превысила фитотоксичный уровень ПДК в 120-метровой зоне от железнодорожного полотна, а на расстоянии 160 м содержание цинка находилось в диапазоне естественной природной вариабельности и было ниже ПДК. В целом древостои сохраняли способность выполнять свои концентрационно-трофические и санитарно-гигиенические функции в урбоэкосистеме, создавать благоприятные условия для развития микробиоты. Последние, как известно, способны выводить ТМ из педосферы.

Для максимального очищения окружающей среды от аэротехногенных выбросов, в том числе не электрифицированных железных дорог, необходимо создавать искусственные или формировать из естественного возобновления смешанные хвойно-лиственные насаждения. При этом ширина буферной зоны должна составлять не менее 120 м от железнодорожного полотна.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН) № 0220-2017-0004.

Литература

1. **Иванькина Т.В.** Актуальность биоиндикации растений в условиях техногенного загрязнения. Вестник Амурского государственного университета. 2010. Вып. 51: Сер. Естественные и экономические науки. С. 81–83.
2. **Вихров В.Е., Лобасенок А.К.** Технические свойства древесины в связи с типами леса. Минск, 1963. 72 с.
3. **Кищенко И.Т., Вантенкова И.В.** Сезонный рост березы пушистой в Северной Карелии. Лесоведение. 2011. № 4. С. 48–52.
4. **Казанцев И.В., Зарубин Ю.П., Пурьгин П.П.** Влияние подвижного состава на содержание ТМ в почвах и растительных полосах отвода железных дорог. Вестник Самарского государственного университета. 2007. № 2. С. 172–179.
5. **Pulford I.D., Watson C.** Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees a review. Environment international. 2003. Vol. 29. № 4. P. 529–540.
6. **Laureysens I., Blust R., De Temmerman L., Lemmens C., Ceulemans R.** Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture: I. Seasonal variation in leaf, wood and bark concentrations. Environmental Pollution. 2004. Vol. 131. № 3. С. 485–494.
7. **Letpens S., Vandecasteele B., De Vos B., Vansteenkiste D., Verschelde P.** Intra- and inter-annual variation of Cd, Zn, Mn and Cu in foliage of poplars on contaminated soil. Science of the Total Environment. 2011. Vol. 409. № 11. P. 2306–2316.
8. **Медведева М.В., Федорет Н.Г., Яковлев А.С., Савельев Л.Л.** Экологическая оценка почв техногенных зон урбанизированных территорий. Транспорт Российской Федерации. 2014. № 1 (50). С. 42–45.
9. **Октябрьская железная дорога** [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Октябрьская_железная_дорога (дата обращения 23.03.2018).
10. **Петрозаводск (локомотивное депо)**. [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Петрозаводск_\(локомотивное_депо\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Петрозаводск_(локомотивное_депо)) (дата обращения 23.03.2018).
11. **Кирдей Т.А.** Фитотоксичность свинца в присутствии гумата. Поволжский технологический журнал. 2015. № 3. С. 357–360.
12. **Ягодин Б.А., Кидин В.В. и др.** Тяжелые металлы в системе почва-растение. Химия в сельском хозяйстве. 1996. №5. С. 43–45.
13. **Verloo M., Cottenie A., Landschoot G. Van.** Analytical and biological criteria with regard to soil pollution. Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband. 1982. S.-H.39. S. 394–403.
14. **Обухов А.И., Ефремова Л.Л.** Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами. Матер. II Всерос. конф. "Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы". М., 1988. Ч. 1. С. 23–26.
15. **Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А.** Аккумуляция ТМ дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара, Изд-во Самарского ун-та, 1998. 131 с.
16. **Снежко С.И., Шевченко О.Г.** Источники поступления ТМ в атмосферу. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 18. С. 35–37.
17. **Christou A., Theologides C.P., Costa C., Kalavrouziotis I.K., Varnavas S.P.** Assessment of toxic heavy metals concentrations in soils and wild and cultivated plant species in Limni abandoned cooper mining site, Cyprus. J. Geochem. Explor. 2017. 178. P. 16–22.

References

1. **Ivanykina T.V.** Aktual'nost' bioindikatsii rastenii v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya. Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. Vyp. 51: Ser. Estestvennye i ekonomicheskie nauki. S. 81–83.
2. **Vikhrov V.E., Lobasenok A.K.** Tekhnicheskie svoystva drevesiny v svyazi s tipami lesa. Minsk, 1963. 72 s.
3. **Kishchenko I.T., Vantenkova I.V.** Sezonnny rost berezy pushistoi v Severnoi Karelii. Lesovedenie. 2011. № 4. S. 48–52.
4. **Kazantsev I.V., Zarubin Yu.P., Purygin P.P.** Vliyanie podvizhnogo sostava na sodержanie TM v pochvakh i rasteniyaikh polosy otvoda zheleznykh dorog. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. 2007. № 2. S. 172–179.
5. **Pulford I.D., Watson C.** Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees a review. Environment international. 2003. Vol. 29. № 4. P. 529–540.
6. **Laureysens I., Blust R., De Temmerman L., Lemmens C., Ceulemans R.** Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture: I. Seasonal variation in leaf, wood and bark concentrations. Environmental Pollution. 2004. Vol. 131. № 3. С. 485–494.
7. **Letpens S., Vandecasteele B., De Vos B., Vansteenkiste D., Verschelde P.** Intra- and inter-annual variation of Cd, Zn, Mn and Cu in foliage of poplars on contaminated soil. Science of the Total Environment. 2011. Vol. 409. № 11. P. 2306–2316.
8. **Medvedeva M.V., Fedorets N.G., Yakovlev A.S., Savel'ev L.L.** Ekologicheskaya otsenka pochv tekhnogennykh zon urbanizirovannykh territorii. Transport Rossiiskoi Federatsii. 2014. № 1 (50). S. 42–45.
9. **Oktyabr'skaya zheleznaya doroga** [Elektronnyi resurs]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Oktyabr'skaya_zheleznaya_doroga (data obrashcheniya 23.03.2018).
10. **Petrozavodsk (lokomotivnoe depo)**. [Elektronnyi resurs]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Petrozavodsk_\(lokomotivnoe_depo\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Petrozavodsk_(lokomotivnoe_depo)) (data obrashcheniya 23.03.2018).
11. **Kirdei T.A.** Fitotoksichnost' svintsa v prisutstvii gumata. Povolzhskii tekhnologicheskii zhurnal. 2015. № 3. S. 357–360.
12. **Yagodin B.A., Kidin V.V. i dr.** Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie. Khimiya v sel'skom khozyaistve. 1996. №5. S. 43–45.
13. **Verloo M., Cottenie A., Landschoot G. Van.** Analytical and biological criteria with regard to soil pollution. Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband. 1982. S.-H.39. S. 394–403.
14. **Obukhov A.I., Efremova L.L.** Okhrana i rekultivatsiya pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metallami. Mater. II Vseros. konf. "Tyazhelye metally v okruzhayushchei srede i okhrana prirody". M., 1988. Ch. 1. S. 23–26.
15. **Prokhorova N.V., Matveev N.M., Pavlovskii V.A.** Akkumulatsiya TM dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e. Samara, Izd-vo Samarskogo un-ta, 1998. 131 s.
16. **Snezhko S.I., Shevchenko O.G.** Istochniki postupleniya TM v atmosferu. Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2011. № 18. S. 35–37.
17. **Christou A., Theologides C.P., Costa C., Kalavrouziotis I.K., Varnavas S.P.** Assessment of toxic heavy metals concentrations in soils and wild and cultivated plant species in Limni abandoned cooper mining site, Cyprus. J. Geochem. Explor. 2017. 178. P. 16–22.

М.В. Медведева – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник, Институт леса Карельского научного центра РАН, 185910 Россия, г. Петрозаводск, Пушкинская 11, e-mail: mariamed@mail.ru • Т.С. Титова – д-р техн. наук, зав. кафедрой, Петербургский государственный университет путей сообщения им. Александра I, 190031 Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр. 9, e-mail: tamila@pgu.ru • О.Н. Бахмет – д-р биол. наук, член-корр. РАН, врио председателя, Институт леса Карельского научного центра РАН, 185910 Россия, г. Петрозаводск, Пушкинская, 11, e-mail: obakhmet@mail.ru • А.Н. Пеккоев – канд. с.-х. наук, науч. сотрудник, рек-aleksei@list.ru • В.А. Харитонов – науч. сотрудник, e-mail: haritonov@krc.karelia.ru

M.V. Medvedeva – Cand. Sci. (Biol.), Senior Scientist, Forest Institute of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 185910 Russia, Petrozavodsk, Pushkinskaya Str. 11, e-mail: mariamed@mail.ru • T.S. Titova – Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University 190031 Russia, Saint Petersburg, Moskovsky pr. 9, e-mail: tamila@pgu.ru • O.N. Bakhmet – Dr. Sci. (Biol.), Corresponding Member RAS, Alternate Chairman, Forest Institute of the Karelian Research Center RAS, 185910 Russia, Petrozavodsk, Pushkinskaya Str. 11, e-mail: obakhmet@mail.ru • A.N. Pekkojev – Cand. Sci. (Agriculture), Scientific Employee, e-mail: pek-aleksei@list.ru • V.A. Kharitonov – Scientific Employee, e-mail: haritonov@krc.karelia.ru