
ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ — МСХА ИМ. К.А. ТИМИРЯЗЕВА ПОД НАСАЖДЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Э.А. Довлетярова¹, Л.В. Мосина², П.А. Петровская¹

¹Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8/2, Москва, Россия, 117198

²РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
ул. Тимирязевская, 49, Москва, Россия, 127550

Тяжелые металлы, циркулирующие в биосфере, оказывают огромное отрицательное влияние на компоненты экосистемы. Однако при этом реальную опасность загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) представляют не валовые содержания металлов, а их подвижные формы, так как последние практически определяют накопление элементов в фитомассе и влияют на биологическую активность почв. Между тем изученность этого вопроса очень слабая. Практически не изученным является влияние уплотнения почвы на подвижность ТМ. В этой связи на участках леса с неодинаковой антропогенной нагрузкой нами были проведены исследования, которые показали зависимость различных по прочности связи форм токсичных тяжелых металлов от уплотнения почвы. Плотность сложения почвенного профиля во многом определяет формирование почвенных режимов — водно-воздушного, температурного, окислительно-восстановительного, биохимического и оказывает часто решающее влияние на проявление почвенных основных экологических функций, условия роста, развития и продуктивность растений, жизнедеятельность микроорганизмов и почвенной фауны.

Ключевые слова: тяжелые металлы (ТМ), плотность почвы, миграция ТМ, подвижность ТМ, антропогенная нагрузка

При проведении почвенного обследования на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета — Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева было отмечено, что на участках леса с преобладанием лиственницы в составе насаждений почва имеет очень рыхлое сложение, а в научных публикациях эта порода отмечается в условиях Лесной опытной дачи МСХА как самый жизнестойкий лесообразователь [4]. Ввиду того, что уплотнению подвергается поверхностный слой почвы, исследования объемной массы проводили для верхнего 6-сантиметрового слоя почвы. Лиственница обладает разрыхляющим почву свойством, что в сочетании с высокой пыле- и газоустойчивостью может делать ее хорошим лесообразователем в зонах повышенной рекреации. Были получены достоверные различия величины плотности почвы в зависимости от видового состава древесных пород и установлены разуплотняющие действия лиственничных древостоев на почву [1].

Установленная способность лиственницы разрыхлять почву и вместе с тем выявленное влияние уплотнения почвы на подвижность тяжелых металлов позволили проверить эту связь на примере лиственничных древостоев.

С этой целью были подобраны и проанализированы пробные площади в лиственничных фитоценозах. Для сравнения разуплотняющего действия данной породы были изучены сосновые древостои. При выборе пробных площадей подбирались такие, где насаждения идентичны или близки по технологии посадки, составу, возрасту, и произрастающие в пределах одного почвенного типа [7].

Почвы под изученными насаждениями представлены одним почвенным типом — дерново-подзолистым и, несмотря на значительное сходство, имеют существенные различия по величине плотности, что связано с разрыхляющим действием лиственницы [2].

Результаты исследования форм ТМ в почве под насаждениями ЛОД МСХА (табл. 1—4) показали значительные различия в поведении тяжелых металлов в лиственничных и сосновых фитоценозах. Причем наибольшие различия отмечаются для свинцового и кадмиевого загрязнений (табл. 1—3). Как общая закономерность наблюдается уменьшение подвижных форм Pb и Cd под лиственничными древостоями. Сумма фракций обменного (вытяжка $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) и условно доступного (вытяжка $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) свинца, т.е. сумма подвижных форм данного элемента, в лиственничных экосистемах составляет 48,7—53,5% от валового, что на 15—20% меньше доли подвижного Pb в сосновых древостоях. Причем в составе подвижных фракций под лиственничниками доля наиболее мобильного свинца (вытяжка $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) значительно ниже, чем в сосняках, и составляет соответственно 27,3—36% и 45—46% [3].

Аналогичная зависимость установлена и в отношении кадмия. Под лиственничными древостоями содержание его подвижных форм колеблется от 59 до 66%, в то время как под сосновыми фитоценозами данная фракция составляет 78—81%. Снижение содержания легкодоступных форм тяжелых металлов в почвах под лиственничными древостоями уменьшает опасность поступления токсикантов в растения и тем самым сохраняет экологические функции данных фитоценозов. В поведении меди и цинка под изученными древесными породами существенных различий не установлено [5]. Таким образом, результаты проведенных исследований подтвердили взаимосвязь плотности почвы с подвижностью Pb. Аналогичная зависимость выявлена и для Cd.

Таблица 1

**Формы свинца в почвах насаждениями ЛОД МСХА
(в верхнем 6-сантиметровом гумусовом слое)**

Квартал, пробная площадь	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$		$\text{CH}_3\text{COONH}_4$		1н HCL		6н HCL		Σ мг/кг	Содержание подвижного свинца, %
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%		
Сосновые древостои										
4А	18,00 ± ± 1,21	45,0	9,85 ± ± 0,81	24,7	9,92 ± ± 0,64	24,7	2,25 ± ± 0,15	5,7	40,7	69,5
4Е	20,55 ± ± 2,00	46,1	10,05 ± ± 0,9	24,4	10,85 ± ± 0,81	24,4	3,05 ± ± 0,24	6,8	44,50	68,7
Лиственничные древостои										
5P ₁	11,10 ± ± 0,94	35,8	5,20 ± ± 0,41	16,7	11,85 ± ± 0,91	38,0	2,85 ± ± 0,15	9,2	31,00	52,0
5P ₂	12,65 ± ± 1,01	36,0	5,55 ± ± 0,43	15,9	13,1 ± ± 0,94	37,6	3,50 ± ± 0,24	10,0	34,80	51,9
7П	17,23 ± ± 1,10	27,3	13,54 ± ± 0,01	21,4	27,84 ± ± 1,74	44,2	4,40 ± ± 0,36	7,0	63,01	48,7
4К	18,11 ± ± 1,34	35,4	7,20 ± ± 0,54	14,1	22,10 ± ± 1,56	43,2	3,70 ± ± 0,27	7,25	51,11	53,5
11К	15,05 ± ± 1,28	31,0	9,27 ± ± 0,84	19,2	20,43 ± ± 1,56	40,3	3,55 ± ± 0,24	9,3	48,30	50,2

Примечание. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — обменные формы; $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ — условно доступные формы; 1н HCL — потенциально доступные (потенциально подвижные); 6н HCL — труднодоступные формы. Концентрацию подвижного свинца определяли путем суммирования концентрации Pb в вытяжках $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.

Таблица 2

**Формы кадмия в почвах насаждениями ЛОД МСХА
(в верхнем 6-сантиметровом гумусовом слое)**

Квартал, пробная площадь	Ca(NO ₃) ₂		CH ₃ COONH ₄		1н HCL		6н HCL		Σ мг/кг	Содержание подвижного кадмия, %
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%		
Сосновые древостои										
4А	1,70 ± ± 0,05	68,0	0,25 ± ± 0,08	10,0	0,35 ± ± 0,04	14,0	0,20 ± ± 0,012	8,0	2,5	78,0
4Е	1,75 ± ± 0,10	69,4	0,30 ± ± 0,02	11,9	0,35 ± ± 0,05	12,7	0,15 ± ± 0,01	2,55	2,55	81,3
Лиственничные древостои										
5Р ₁	1,15 ± ± 0,075	50,0	0,31 ± ± 0,04	13,4	0,60 ± ± 0,04	26,1	0,25 ± ± 0,05	10,9	2,3	63,4
5Р ₂	1,00 ± ± 0,01	44,4	0,39 ± ± 0,02	17,3	0,61 ± ± 0,02	27,1	0,29 ± ± 0,02	12,9	2,25	61,4
7П	1,30 ± ± 0,10	55,3	0,25 ± ± 0,04	10,6	0,55 ± ± 0,05	23,4	0,25 ± ± 0,01	10,6	2,35	59,0
11 К	1,15 ± ± 0,08	54,7	0,21 ± ± 0,04	10,0	0,50 ± ± 0,04	23,8	0,24 ± ± 0,08	11,5	2,10	66,6

Примечание. Ca(NO₃)₂ — обменные формы; CH₃COONH₄ — условно доступные формы; 1н HCL — потенциально доступные (потенциально подвижные) формы; 6н HCL — труднодоступные формы; концентрацию подвижного Cd определяли путем суммирования концентрации Си в вытяжках Ca(NO₃)₂ и CH₃COONH₄.

Таблица 3

**Формы меди в почвах насаждениями ЛОД МСХА
(в верхнем 6-сантиметровом гумусовом слое)**

Квартал, пробная площадь	Ca(NO ₃) ₂		CH ₃ COONH ₄		1н HCL		6н HCL		Σ мг/кг	Содержание подвижной меди, %
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%		
Сосновые древостои										
4А	1,90 ± ± 0,51	16,7	1,00 ± ± 0,05	8,8	6,10±0,04	53,7	2,35 ± ± 0,025	20,7	11,35 ± ± 0,16	25,5
4Е	1,95 ± ± 0,091	14,8	1,00 ± ± 0,05	7,6	7,45± 0,07	56,4	2,80 ± ± 0,15	21,2	13,20 ± ± 0,80	22,4
Лиственничные древостои										
5Р ₁	1,70 ± ± 0,04	21,5	0,70 ± ± 0,05	8,8	3,15 7,45 ± ± 0,01	39,6	2,35 ± ± 0,04	29,6	7,95 ± ± 0,14	21
5Р ₂	1,50 ± ± 0,02	17,8	0,70 ± ± 0,05	8,3	4,40 ± ± 0,10	52,0	1,85 ± ± 0,05	21,9	8,45 ± ± 0,22	26
7П	1,55 ± ± 0,1	7,3	1,05 ± ± 0,06	5,0	13,20 ± ± 0,76	62,2	5,40 ± ± 0,36	25,5	21,20 ± ± 1,94	12
11 К	1,80 ± ± 0,05	12,8	1,25 ± ± 0,05	8,9	8,20 ± ± 0,10	58,3	2,80 ± ± 0,06	19,9	14,05 ± ± 1,06	22

Примечание. Ca(NO₃)₂ — обменные формы; CH₃COONH₄ — условно доступные формы; 1н HCL — потенциально доступные (потенциально подвижные) формы; 6н HCL — труднодоступные формы; содержание подвижной меди определяли путем суммирования концентрации Си в вытяжках Ca(NO₃)₂ и CH₃COONH₄.

**Формы цинка в почвах насаждениями ЛОД МСХА
(в верхнем 6-сантиметровом гумусовом слое)**

Квартал, пробная площадь	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	1н HCL	6н HCL	Σ мг/кг	Содержа- ние под- вижного цинка, %
	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг		
Сосновые древостои						
4А	$8,15 \pm 0,65$	$12,40 \pm 0,08$	$27,45 \pm 1,05$	$28,70 \pm 1,9$	$76,70 \pm 1,9$	26,8
4Е	$8,20 \pm 0,1$	$20,30 \pm 1,64$	$46,45 \pm 3,8$	$41,40 \pm 3,1$	$116,35 \pm 10,3$	25
Лиственничные древостои						
5Р ₁	$5,15 \pm 0,33$	$3,60 \pm 0,21$	$28,20 \pm 1,96$	$28,45 \pm 2,02$	$71,40 \pm 3,8$	20
5Р ₂	$5,25 \pm 0,45$	$7,65 \pm 0,54$	$35,25 \pm 2,86$	$27,50 \pm 1,84$	$75,65 \pm 4,2$	17
7П	$7,40 \pm 0,64$	$18,50 \pm 1,53$	$68,90 \pm 5,44$	$99,30 \pm 8,41$	$194,10 \pm 11,6$	13
11 К	$5,40 \pm 0,41$	$13,55 \pm 1,02$	$20,65 \pm 1,64$	$31,35 \pm 2,58$	$70,95 \pm 5,4$	27

Примечание. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — обменные формы; $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ — условно доступные формы; 1н HCL — потенциально доступные (потенциально подвижные) формы; 6н HCL — труднодоступные формы; содержание подвижной меди определяли путем суммирования концентрации цинка в вытяжках $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.

Чистые лиственничные древостои (10 Лц) по сравнению с сосновыми снижают подвижные формы (вытяжки $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) данных элементов на 15—20%. Полученные результаты раскрывают один из механизмов, определяющих высокую продуктивность и устойчивость лиственницы в условиях повышенного антропогенного воздействия [6].

На ЛОД эта древесная порода формирует высшие бонитеты — 1а и даже 1б. Этот механизм заключается в снижении одних из наиболее опасных тяжелых металлов — свинца и кадмия в результате разуплотняющего действия данной древесной породы. Выявленную особенность лиственницы необходимо учитывать при подборе древесных пород в рекреационных целях для крупных промышленных городов.

© Довлетярова Э.А., Мосина Л.В., Петровская П.А., 2016

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Довлетярова Э.А. Динамика численности основных групп микробного населения под насаждениями дубравы сосны с березой в условиях различного антропогенного загрязнения // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. № 1. М.: РУДН, 2006. С. 17—21.
- [2] Довлетярова Э.А. Состояние системы «почва—растение» в условиях города. М.: РУДН, 2006.
- [3] Довлетярова Э.А., Столярова А.Г., Мосина Л.В. Влияние городской среды на загрязнение почв тяжелыми металлами в зависимости от состава и возраста лесных древостоев (на примере лесной опытной дачи РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева) // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. № 5. М.: РУДН, 2012. С. 101—108.

- [4] Мосина Л.В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса Москва: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. 2003.
- [5] Мосина Л.В., Довлетярова Э.А. Микробиологическая диагностика проблемных экологических ситуаций на объектах рекреационного пользования // Вестник РУДН. Серия: Агронимия и животноводство. № 5. М.: РУДН, 2013. С. 130—140.
- [6] Мосина Л.В., Довлетярова Э.А., Андриенко Т.Н. Лесная опытная дача РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева как объект экологического мониторинга лесных и лесопарковых ландшафтов мегаполиса Москва. М.: РУДН, 2014.
- [7] Мосина Л.В., Довлетярова Э.А., Петровская П.А. Микробиологическая оценка состояния лесных и лесопарковых экосистем // Вестник РУДН. Серия: Агронимия и животноводство. № 4. М.: РУДН, 2015. С. 42—51.

**SOIL-ECOLOGICAL CHARACTERISTIC
OF THE FOREST EXPERIMENTAL STATION
OF RUSSIAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY OF MOSCOW
AGRICULTURAL ACADEMY BY K.A. TIMIRYAZEV
UNDER PLANTINGS IN THE CONDITIONS
OF VARIOUS ANTHROPOGENOUS LOADING**

E.A. Dovletyarova¹, L.V. Mosina², P.A. Petrovskaya¹

¹Peoples' Friendship University of Russia
Miklucho-Maklay str., 8/9, Moscow, Russia, 117198

²Russian State Agrarian University
Timiryazevskaya str., 49, Moscow, Russia, 127550

The heavy metals circulating in the biosphere have a huge negative impact on ecosystem components. At the same time however, the real danger from the environmental pollution by the heavy metals (HM) is constituted not by gross volume of metals, but by their mobile forms as the last practically define the accumulation of elements in biomass and influence the biological activity of soils. Meanwhile, the level study of this question is very weak. The influence of soil consolidation on HM mobility is almost not unknown. In this regard at wood sites with unequal anthropogenic loading we have conducted researches which have demonstrated the dependence of toxic heavy metals forms, diverse by durability of communication, on the consolidation of soil. In many respects the density of soil profile defines the formation of the soil modes — water-air, temperature, oxidation-reduction, biochemical, and often makes decisive impact on demonstration of the soil main ecological functions, conditions of growth, development and efficiency of plants, microorganisms activity and soil fauna.

Key words: heavy metals (HM), soil density, migration of HM, mobility of HM, anthropogenic loading

REFERENCES

- [1] Dovletjarova Je.A. Dinamika chislenosti osnovnyh grupp mikrobnogo naselenija pod nasazhdenijami dubravy sosny s bereznoj v uslovijah razlichnogo antropogennogo zagraznenija. *Vestnik RUDN. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo*. № 1. М.: RUDN, 2006. S. 17—21.

- [2] Dovletjarova Je.A. Sostojanie sistemy «pochva-rastenie» v uslovijah goroda. M.: RUDN, 2006.
- [3] Dovletjarova Je.A., Stoljarova A.G., Mosina L.V. Vlijanie gorodskoj sredy na zagrjaznenie pochv tjazhelymi metallami v zavisimosti ot sostava i vozrasta lesnyh drevostoev (na primere lesnoj opytnoj dachi RGAU — MSHA im. K.A. Timirjazeva). *Vestnik RUDN. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo*. № 5. M.: RUDN, 2012. S. 101—108.
- [4] Mosina L.V. Antropogennoe izmenenie lesnyh jekosistem v uslovijah megapolisa Moskva: Avtoref. diss. d-ra biol. nauk. 2003.
- [5] Mosina L.V., Dovletjarova Je.A. Mikrobiologičeskaja diagnostika problemnyh jekologičeskich situacij na ob'ektah rekreacionnogo pol'zovanija. *Vestnik RUDN. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo*. № 5. M.: RUDN, 2013. S. 130—140.
- [6] Mosina L.V., Dovletjarova Je.A., Andrienko T.N. Lesnaja opyt'naja dacha RGAU — MSHA im. K.A. Timirjazeva kak ob'ekt jekologičeskogo monitoringa lesnyh i lesoparkovyh landshaftov megapolisa Moskva. M.: RUDN, 2014.
- [7] Mosina L.V., Dovletjarova Je.A., Petrovskaja P.A. Mikrobiologičeskaja ocenka sostojanija lesnyh i lesoparkovyh jekosistem. *Vestnik RUDN. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo*. № 4. M.: RUDN, 2015. S. 42—51.