



## ЭКОЛОГИЯ

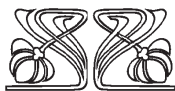
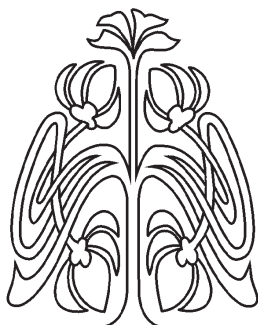
УДК 631.4:631.439:631.9

### Экологическое состояние почвы в системе «почва – лесные насаждения»

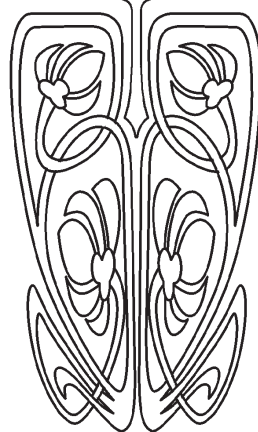
А. Ю. Верин, И. Ф. Медведев

Верин Александр Юрьевич, младший научный сотрудник, аспирант лаборатории агроландшафтов и ГИС, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока, Саратов, [prive\\_\\_t@mail.ru](mailto:prive__t@mail.ru)

Медведев Иван Филиппович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории агроландшафтов и ГИС, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока, Саратов, [medvedev-uv@yandex.ru](mailto:medvedev-uv@yandex.ru)



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ



В статье рассматривается экологическое состояние почвы в системе «почва – лесные насаждения». Лесные насаждения усиливают экологическую устойчивость и продуктивность в почвенно-растительной системе, способствуя оптимизации физических свойств почвы. С улучшением физических и водно-физических свойств почвы увеличиваются запасы воды в почве, усиливаются процессы гумификации, восстановления потенциального и эффективного плодородия почвы. В почве зоны действия лесной полосы увеличивается доля органических коллоидов за счет корневых и растительных остатков. Гранулометрический состав верхних горизонтов почвы обогащается структурообразующими фракциями. По мере приближения к лесным насаждениям повышаются коэффициенты структурности в 1,3 раза и водопрочности почвы в 3,7 раза, возобновляется агрономически ценная структура почвы. Наименьшая плотность сложения приурочена к верхнему, наиболее гумусированному слою почвы, что обусловлено количеством поступающей органической массы в почву. По мере удаления от лесных насаждений плотность сложения почвы увеличивалась до 1,05–1,24 г/см<sup>3</sup>. Интенсивное гумусонакопление происходит в почве под лесными насаждениями и в зоне их влияния 1–4Н. Содержание гумуса в пахотном слое почвы по сравнению с контролем увеличилось в зоне 1Н–32Н на 1,2%, по абсолютным запасам соответственно на 92,3 т/га. Максимальный прирост отмечен в зоне 1Н–4Н (235,1 т/га), что больше контроля на 21,7%. Лесные насаждения влияют на аккумуляцию тяжелых металлов в слое почвы 0–30 см. Наименьшее содержание тяжелых металлов отмечается в контроле, наибольшее – под лесными насаждениями и в зоне 1–4Н.

**Ключевые слова:** лесные насаждения, гранулометрический состав почвы, сухое и мокрое просеивание, плотность сложения почвы, валовый гумус, тяжелые металлы.

Поступила в редакцию: 21.10.2019 / Принята: 10.11.2019 / Опубликовано: 01.06.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-226-231>

#### Введение

В условиях глобального изменения климата, на фоне высокого уровня интенсификации сельскохозяйственного производства и проявления негативных процессов в условиях Поволжья роль лесных насаждений в формировании экологической устойчивости ландшафтов становится решающей, поэтому мониторинг и анализ экологического состояния почвы в системе «почва – лесные насаждения» представляют интерес [1, 2].



### Материалы и методы

Исследования по изучению влияния лесных насаждений на экологические параметры почвы проводились в 2016–2018 гг. на территории ФГУП «Аркадакская СХОС», Саратовская область, Аркадакский район, с. Росташи. Ландшафт, который находится на черноземе обыкновенном Окско-Донской равнины Елань-Терсинского ландшафтного района (51°51'55.1"N 43°37'04.8"E). Территория хозяйства расположена в среднем течении реки Хопёр. Рельеф изучаемого ландшафта равнинный. Территория производственных полей окаймлена защитными водорегулирующими лесополосами. Лесополосы ажурно-продуваемой конструкции шириной 50–53 м. Породный состав представлен дубом черешчатым, кленом остролистным. Все лесополосы заложены в 1948–1949 гг. и в 1875–1880 гг.

Наблюдения за формированием экологических параметров почвы проводились по единой схеме опыта, согласно которой отбор почвенных образцов осуществлялся строго в установленных точках с привязкой координат на различном расстоянии от лесных насаждений по вариантам: 1Н (9м), 2Н (18м), 4Н (36м), 8Н (72м), 16Н (144м), 32Н (250м) (Н – средняя высота лесных насаждений). В полевых условиях определялась плотность сложения по методике Н. А. Качинского. В лабораторных условиях определяли гранулометрический состав почвы пиррофосфатным методом по Н. А. Качинскому; по методике Н. И. Саввинова произведено сухое и мокрое просеивание и определен структурный

состав почвы; тяжелые металлы определялись в подвижной и кислорастворимой формах. Анализы проводились в лаборатории ФГБУ ГСАС «Саратовская» по ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.46-06, ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.47-06, ПНД Ф 16.1:2:2.22-98. Полученные данные подвергали корреляционному и дисперсионному анализу с использованием методов Б. А. Доспехова и MSFT Excel и Agros.

### Результаты и их обсуждение

В ходе проведенных исследований установлено, что чернозем обыкновенный под лесными насаждениями имеет среднесуглинистый песчанно-крупнопылеватый гранулометрический состав. Доля фракций физической глины (<0,01) – 30,62%, фракций физического песка (>0,01) – 69,38%. Преобладающей фракцией является фракция крупной пыли (0,05–0,01 мм) – 31,60% от абсолютно сухой почвы. В почве в зоне действия лесных насаждений происходит облегчение гранулометрического состава до легкосуглинисто песчанно-крупнопылеватого. Доля фракций физической глины (<0,01) – 27,60%, фракций физического песка (>0,01) – 72,40%. Преобладающей фракцией является фракция крупной пыли (0,05–0,01 мм) – 32,54% от абсолютно сухой почвы. На открытом участке поля (контроле) гранулометрический состав изменяется до супечано-крупнопылеватого-песчаного. Доля фракций физической глины (<0,01) – 17,60%, фракций физического песка (>0,01) – 82,40%. В исследуемой почве преобладающей фракцией является песчаная фракция (1,0–0,25мм) – 37,72% от абсолютно сухой почвы (рис. 1).

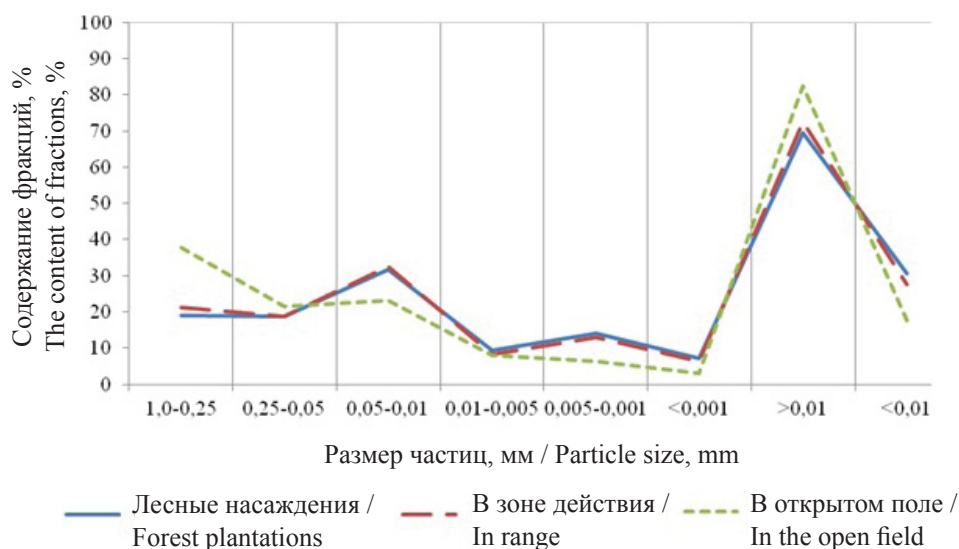


Рис. 1. Изменение гранулометрического состава почвы под влиянием лесных насаждений  
 Fig. 1. Change in the particle size distribution of the soil under the influence of forest plantations



Установлено, что по физическим и водно-физическим свойствам почва в открытом поле существенно отличалась от почв под лесными насаждениями.

Почвы тяжелого гранулометрического состава, по сравнению с легким, богаче глинистыми минералами и, как правило, органическим веществом, которые принимают активное участие в формировании ее структуры. Они содержат больше органических и органоминеральных коллоидов [3].

Ежегодно нарастающее поступление продуктов метаболизма микробной фауны в виде рыхлых гумусовых кислот (детрит) оптимизирует процессы оструктурирования почвы, происходит обогащение структурообразующими фракциями почвы. По количеству агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм) окультуривание исследу-

емых почв привело к ухудшению структурного состояния почвы. Для почвы под лесными насаждениями содержание ценных агрегатов по результатам сухого отсева составило 91,06, водопрочных – 72,24% соответственно, для почвы в открытом поле оно снизилось до 66,54 и 60,1%, то есть на 24,52 и 12,14%. В зоне влияния лесной полосы почва менее подверглась изменению при окультуривании – 73,9 и 64,2%.

Отмечено, что по сравнению с открытым полем, в слое почвы 0–30 см в зоне физико-биологического влияния лесных насаждений структура почвы улучшилась: уменьшилось количество глыбистой фракции (размером > 10 мм) с 22,42 до 20,7%, т.е. на 1,72%; увеличилась сумма структурных фракций меньших размеров (5–0,25 мм) средних, мелких комков и зернистых фракций с 40,1 до 45,6%, т.е. на 5,5% (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Структурный состав по сухому и мокрому севу в слое почвы (0–30 см)  
Structural composition of dry and wet sieving in the soil layer (0–30 cm)**

Фракция, мм / Fraction, mm	Лесные насаждения / Forest plantations	В зоне влияния / In the zone of influence	Контроль / The control
Сухой сев / Мокрый сев, % / Dry sieving / Wet sieving, %			
>10	6,68/-	20,7/-	22,42/-
10–7	11,9/-	9,1/-	11,62/-
7–5	11,3/0,32	11,3/0,12	9,36/1,64
5–3	10,4/0,37	11,3/0,4	5,48/2,5
3–2	28,24/9,4	10,2/16,4	11,92/4,7
2–1	21,64/40,1	17,9/41	16,1/1,06
1–0,5	3,28/17,62	7,9/13,6	3,42/0,44
0,5–0,25	4,3/1,22	6,2/0,72	8,64/0,16
< 0,25	2,26/30,97	5,4/27,6	11,04/24,7
Сумма фракций, % / The sum of fractions, %			
> 10 и <0,25	8,94/30,97	26,1/27,6	33,46/24,7
10–0,25	91,06/69,03	73,9/72,4	66,54/75,3
*Кс	10,07	2,83	1,98
Кв	722,2	253,9	12,43

Примечание. \*Кс – коэффициент структурности, Кв – коэффициент водопрочности.  
Note. \*Kc – structural coefficient, Kв – water resistance coefficient.

В связи с отсутствием листового опада лесных полос в открытом поле сумма ценных структурных фракций частиц (5–0,25 мм) средних, мелких комков и зернистых фракций, по сравнению с почвой под лесными насаждениями, уменьшилась с 81,42 до 40,1%, т.е. на 41,32%.

Полученные данные показали, что окультуренная почва в 1,2 раза утратила количество водопрочных агрегатов по сравнению с почвой под лесными насаждениями.

Исследования множества ученых показывают, что водопрочность агрегатов рассматривается как следствие совокупного воздействия ряда факторов, важнейший из которых – биологический, в частности количество и активность образующихся перегнойных веществ [4].

По величине коэффициента структурности агрегатное состояние на всех исследуемых зонах чернозема обыкновенного оказалось различным. Максимальная величина коэффициента



структурности выявлена в почве под лесными насаждениями (10,07), минимальная – на почве в открытом поле (1,98). На интенсивно используемой пашне чернозема южного произошло уменьшение количества водопрочных агрегатов в 1,3 раза по сравнению с почвой под лесными насаждениями. По величине коэффициента водопрочности почва под лесными насаждениями отмечается как очень хорошая, водопрочность агрегатов (722), хорошая водопрочность выявлена в зоне действия лесных насаждений (253,9) и неудовлетворительная – в открытом поле (12,43).

Плотность сложения нарушенной почвы – это один из основных диагностических показателей благополучия в развитии почвообразовательных процессов и формировании уровня экологии биоценозов [5]. Результаты проведенных исследований показывают, что оптимальный уровень плотности сложения имеет почва под лесными насаждениями, что обусловлено количеством поступающей органической массы в почву. Плотность сложения в зоне влияния лесных насаждений является оптимальной для роста и развития растений (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

**Плотность сложения почвы в зоне влияния лесных насаждений, г/см<sup>3</sup>**  
**The density of soil in the zone of influence of forest stands, g/cm<sup>3</sup>**

*Слой почвы, см / Soil layer, cm	**Место отбора / Place of selection							
	Л.Н.	1Н	2Н	4Н	8Н	16Н	32Н	Контроль / The control
0–10	0,79	0,98	1,05	1,14	1,16	1,22	1,21	1,24
10–20	1,14	1,09	1,11	1,19	1,17	1,24	1,26	1,29
20–30	1,24	1,19	1,20	1,22	1,25	1,29	1,32	1,35
30–40	1,29	1,28	1,31	1,32	1,32	1,34	1,39	1,41
40–60	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,43	1,43	1,45
Фактор А*	НСР <sub>0,5</sub>	0,003		F <sub>теор.</sub>	2,10		F <sub>факт.</sub>	7950,688
Фактор В**		0,002			2,46			1260,898
Взаим. АВ		0,006			1,63			2514,13

Примечание. \* – фактор А – слой почвы, см; \*\* – фактор В – место отбора. Достоверно на 5%-ном уровне значимости.  
 Note. \* – faktor A – soil layer, cm; \*\* – faktor B – place of selection. Significantly at 5% significance level.

Профильный анализ плотности почвы показал, что наименьшая плотность сложения приурочена к верхнему, наиболее гумусированному слою почвы. С глубиной показатель плотности сложения повышается и достигает своего максимума в слое 40–60 см.

В межполосном пространстве почва в процессе систематического механического воздействия уплотнялась и по мере удаления от лесных насаждений плотность сложения почвы увеличивалась до 1,05–1,24 г/см<sup>3</sup>.

Органическое вещество почвы – один из главнейших накопителей и хранителей, энергетических и пищевых ресурсов, а уровень его содержания является интегральным показателем плодородия почв. Основным источником образования гумуса почвы служат органические остатки растительного происхождения.

В зоне влияния лесной полосы за счет поступления растительной массы в почву происходит активизация процессов гумусообразования. Профильный анализ гумуса показал, что даже в пределах ландшафта в силу различной интенсивности процессов поступления органических остатков на различном расстоянии от лесных насаждений развивается различный по мощности гумусовый слой (табл. 3).

Максимальное содержание гумуса наблюдается в верхнем «дневном» А<sub>1</sub> и А<sub>пах</sub> горизонтах соответственно В среднем содержание гумуса в почве под лесными насаждениями в 1,6 раз, а в зоне 1–32Н в 0,6 раз больше чем в контроле. В зоне действия лесных насаждений характер потери гумуса уменьшается. Содержание гумуса в почве под защитой лесной полосы в слое 0–30 см составляет 3,6% и для слоя 30–60 см – 1,4%, что выше аналога в открытом поле на 33,6% для слоя 0–30 см и на 42,85% для слоя 30–60 см соответственно.

Почва, как подсистема в любой экосистеме, является приемником и аккумулятором всех техногенных загрязнителей. Химические элементы и их соединения, попадая на поверхность почвы в экосистеме, претерпевают ряд изменений, рассеиваются или накапливаются в зависимости от характера геохимических барьеров. Полезащитные лесные полосы как типовые элементы ландшафта служат экологическим барьером на пути ветровых и водных миграционных потоков тяжелых металлов.

При анализе географической изменчивости тяжелых металлов (ТМ) наибольшее содержание в слое почвы 0–30 см отмечается в самих лесных насаждениях и зонах 1Н–4Н. Наименьшее содержание ТМ отмечается в контроле (рис. 2).



Таблица 3 / Table 3

**Содержание гумуса в почве в зоне влияния лесных насаждений**  
**The humus content in the soil in the zone of influence of forest stands**

Место отбора / Place of selection	Горизонт / Horizon	Глубина, см / Depth, cm	Гумус / Humus	
			%	т/га / t/hec
Лесные насаждения / Forest plantations	A <sub>1</sub>	32	4,8	151,2
	AB	26	4,1	116,8
	B <sub>к</sub>	31	3,5	129,9
	C <sub>к</sub>	32	2,1	86,4
		95*	3,64**	484,19*
В зоне влияния / In the zone of influence	A <sub>пах</sub>	32	3,6	134,0
	AB	26	2,8	84,9
	B <sub>к</sub>	31	1,0	39,1
	C <sub>к</sub>	32	0,3	14,4
		95*	1,93**	272,37*
Контроль / The control	A <sub>пах</sub>	32	2,4	96,8
	AB	26	1,3	44,9
	B <sub>к</sub>	31	0,8	35,2
	C <sub>к</sub>	32	0,1	6,3
		95*	1,19**	183,23*

Примечание. \* – сумма, \*\* – среднее.  
 Note. \* – amount, \*\* – average.

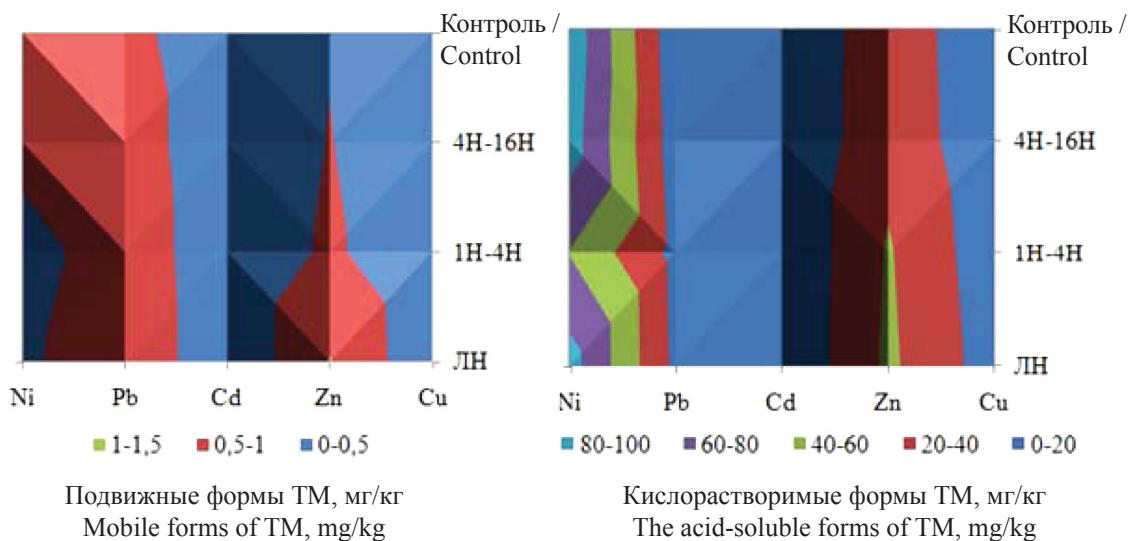


Рис. 2. Содержание ТМ в пахотном слое в зоне влияния лесных насаждений  
 Fig. 2. The content of HM in the arable layer in the zone of influence of forest stands

Основная причина повышенного содержания ТМ обусловлена количеством поступающей органической массы в почву и высоких показателях гумуса почвы. При анализе не выявлено превышения ПДК по всем анализируемым показателям, кроме Ni, в кислорастворимой форме на 35,0 мг/кг в лесных насаждениях, на 5,6 мг/кг в зоне 1–4Н и на 36,65 мг/кг в зоне 4–16Н.

**Выводы**

1. Лесные насаждения способствует экологизации структурного состояния почвы. По мере приближения к лесной полосе повышаются коэффициенты структурности и водопрочности почвы, возобновляется агрономически ценная структура почвы.

2. Наименьшая плотность сложения почвы приурочена к верхнему, наиболее гумусирован-



ному слою почвы, что обусловлено количеством поступающей органической массы в почву. С глубиной показатель плотности сложения повышается и достигает своего максимума в слое 40–60 см. По мере удаления от лесных насаждений плотность сложения почвы увеличивалась до 1,05–1,24 г/см<sup>3</sup>.

3. Наиболее интенсивное гумусонакопление происходит в почве под лесными насаждениями и в зоне их влияния 1–4Н. Запасы гумуса чернозема обыкновенного оцениваются как высокие.

4. Лесные насаждения влияют на аккумуляцию тяжелых металлов в почве. Наименьшее содержание тяжелых металлов отмечается на контроле, наибольшее – под лесными насаждениями и в зоне 1–4Н. Основная причина повышенного содержания ТМ обусловлена ко-

личеством поступающей органической массы в почву и высокими показателями гумуса почвы.

### Список литературы

1. Косолапов В. М. Управление агроландшафтами для повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных земель России // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 2. С. 32–35.
2. Тимерьянов А. Ш. Лесная мелиорация. СПб. : Лань, 2014. 158 с.
3. Ревут И. Б. Физика почв. Л. : Колос, 1972. 368 с.
4. Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.
5. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. М. : Мир, 1992. 200 с.

### Образец для цитирования:

Верин А. Ю., Медведев И. Ф. Экологическое состояние почвы в системе «почва – лесные насаждения» // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 226–231. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-226-231>

### Ecological State of Soil in the System “Soil – Forest Plants”

A. Y. Verin, I. F. Medvedev

Alexander Y. Verin, <https://orcid.org/0000-0001-6801-1812>, Agricultural Research Institute of South-East Region, 7 Tulaikov St., Saratov 410010, Russia, [prive\\_\\_t@mail.ru](mailto:prive__t@mail.ru)

Ivan F. Medvedev, <https://orcid.org/0000-0002-7993-2411>, Agricultural Research Institute of South-East Region, 7 Tulaikov St., Saratov 410010, Russia, [medvedev-uv@yandex.ru](mailto:medvedev-uv@yandex.ru)

The article considers the ecological state of the soil in the system: soil-forest plantations. Forest plantations enhance environmental sustainability and productivity in the soil-plant system, contributing to the optimization of physical properties and soil regimes. Improving the physical and water-physical properties of the soil, increases the water reserves in the soil, increases the processes of humification, restoration of potential and effective soil fertility. In the soil of the forest zone, the proportion of organic colloids increases due to root and plant residues. The granulometric composition of the upper soil horizons is enriched with structure-forming fractions. As we approach the forest plantations, the structural coefficients increase by 1.3 times and the soil water hardness by 3.7 times. Agronomically valuable soil structure is renewed. The lowest density of addition is confined to the upper, most humus layer of the soil, which is due to the amount of incoming organic mass in the soil. As we moved away from forest plantations, the density of soil composition increased to 1.05–1.24 g/cm<sup>3</sup>. Intensive humus accumulation occurs in the soil under forest plantations and in the zone of their influence 1–4H. the content of humus in the arable

layer of soil in comparison with the control increased in the zone 1H–32H by 1.2%. the maximum increase was recorded in the zone 1H–4H (235.1 t/ha), which is 21.7% more than control. Forest plantations affect the accumulation of heavy metals in the soil layer 0–30 cm. The lowest content of heavy metals is observed at the control, the highest under forest plantations and in the zone 1–4H.

**Keywords:** forest plantations, grain size distribution of the soil, dry and wet sifting, soil density, humus, heavy metals.

Received: 21.10.2019 / Accepted: 10.11.2019 / Published: 01.06.2020  
This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

### References

1. Kosolapov V. M. Management of agrolandscapes to increase productivity and sustainability of agricultural lands in Russia. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2010, no. 2, pp. 32–35 (in Russian).
2. Timeryanov A. Sh. *Lesnaya melioratsiya* [Forest reclamation]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2014. 158 p. (in Russian).
3. Revut I. B. *Fizika pochv* [Soil Physics]. Leningrad, Kolos Publ., 1972. 368 p. (in Russian).
4. Kachinsky N. A. *Mekhanicheskiy i mikroagregatnyy sostav pochvy, metody ego izucheniya* [Mechanical and microaggregate composition of the soil, methods for its study]. Moscow, Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1958. 192 p. (in Russian).
5. Alekseev Yu. V. *Tyazhelyye metally v pochvakh i rasteniyakh* [Heavy metals in soils and plants]. Moscow, Mir Publ., 1992. 200 p. (in Russian).

### Cite this article as:

Verin A. Y., Medvedev I. F. Ecological State of Soil in the System “Soil – Forest Plants”. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 226–231 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-226-231>