

УДК 502.521:504.5(470.55/.58)

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕРЕВЬЕВ ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР *BETULA PENDULA* ROTH. ПО СТУПЕНЯМ ТОЛЩИНЫ И УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ КОМБИНАТА «МАГНЕЗИТ»

Меншиков С.Л., Завьялов К.Е., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е., Цепордей И.С.

ФГБУН «Ботанический сад» УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: msl@botgard.uran.ru

В процессе роста древостоев в условиях хронического воздействия внешних неблагоприятных факторов, например техногенного загрязнения воздуха и почвы, немаловажное значение имеет оценка дифференциации деревьев и взаимосвязей, таксационных показателей. Изучено распределение опытных культур березы повислой (*Betula pendula* Roth.) по ступеням толщины при различном уровне техногенной нагрузки и загрязнения почвы. Установлено, что число деревьев с диаметром меньше среднего в зонах загрязнения выше, чем в контроле. В контроле данный показатель составляет 49%, в зоне слабого загрязнения – 65%, в зоне среднего загрязнения – 76%, в зоне сильного загрязнения – 55%. Выпадение данного показателя в зоне сильного загрязнения из общей закономерности можно объяснить отсутствием здесь сомкнутого древостоя. Анализ полученных данных показывает, что чем выше уровень нагрузки, тем сильнее отклоняются кривые распределения от нормальных кривых в сторону снижения диаметра. По мере приближения к источнику загрязнения величина показателя актуальной кислотности почвы увеличивается. В зоне сильного загрязнения показатель  $pH_{H_2O}$  верхних горизонтов почвы по сравнению с контролем увеличен в 2005 г. на 1,3, в зоне среднего загрязнения увеличение составило 0,9 ед. pH.

**Ключевые слова:** аэротехногенные выбросы, распределение деревьев, актуальная кислотность, почва, содержание металлов

## DISTRIBUTION OF *BETULA PENDULA* ROTH. TEST CROPS BY DIAMETER CLASS AND LEVEL OF POLLUTION OF SOIL IN THE AREA OF EMISSIONS OF THE JSC «MAGNESITE» INTEGRATED INDUSTRIAL COMPLEX

Menshikov S.L., Zavyalov K.E., Kuzmina N.A., Mokhnachev P.E., Tsepordey I.S.

Federal State Institution of Science Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, e-mail: msl@botgard.uran.ru

During the growth of stands under conditions of chronic exposure to adverse external factors, such as man-made air pollution and soil, considerable importance is the evaluation of the differentiation trees and relationships, taxation rates. The distribution of experimental crops silver birch (*Betula pendula* Roth.) Thickness of the stairs at the various levels of anthropogenic impact and soil pollution. It is found that the number of trees with a diameter smaller than the average in areas of contamination is higher than the control. In the control group the figure is 49%, in a weak contamination zone – 65%, in the middle zone of contamination – 76%, in an area of heavy contamination – 55%. Loss of this indicator in the area of heavy contamination of the general pattern can be explained by a lack of closeness stand here. Analysis of the data shows that the higher the stress level, the more curves deviate from normal distribution curve in the direction of reducing the diameter. The closer to the source of contamination current value of the index increases the acidity of the soil. In the area of heavy contamination  $pH_{H_2O}$  in layers in comparison with control increased in 2005 to 1,3 in the average zone of contamination increase of 0,9 units. pH.

**Keywords:** agrotechnogenic emissions, distribution of trees, actual acidity, soil, content of metals

В 1980–1983 гг. на Южном Урале в районе г. Сатка в различных зонах магнетитового загрязнения были созданы опытные культуры березы повислой (*Betula pendula* Roth.). В зоне сильного загрязнения находится ОУ № 2 (в 1 км от источника загрязнения), в зоне среднего загрязнения – ОУ № 5 (в 3 км), в зоне слабого загрязнения – ОУ № 3 (в 5 км), в условно контрольной зоне – ОУ № 4 (в 10 км). Все обследованные участки размещены на северо-восток от источника выбросов и, согласно розе ветров, находятся в зоне основного сноса газов и пыли [11]. В 20 км к северо-западу и 25 км к югу от источника выбросов расположены постоянные пробные площади – ППП-6К (район п. Сулея) и К1 (район п. Сибирка), выбранные в качестве фоновых условий и условного контроля соответственно. В условиях магнетито-

вого загрязнения нами ранее проводились исследования по состоянию [2], надземной фитомассы [3], морфологии и химического состава листьев опытных культур *Betula pendula* Roth. [5], рост опытных культур *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth., *Larix sukaczewii* Dyl. [4], состояние естественных сосновых древостоев [6], репродукция [13, 14], качество семян и семенных потомств [10] опытных культур *Pinus silvestris* L.

**Цель и методика исследований.** Целью работы была оценка дифференциации деревьев опытных культур березы повислой (*Betula pendula* Roth.) по ступеням толщины при различном уровне загрязнения почвы. Диаметр опытных культур на высоте 1,3 м определялся через окружность дерева, которая измерялась мерной лентой с точностью до 0,1 см. Почвенные образцы отбирали

(ГОСТ 17.4.4.02.84) по слоям на ОУ, так как горизонты при посадке в 1980-х гг. были перемешаны, а на ППП и в условном контроле (К1) закладывали разрезы. В лабораторных условиях определяли актуальную кислотность (ГОСТ 26423–85) на ионметре рН-340. Металлы из почвы экстрагировали ацетатно-аммонийным буферным раствором. Концентрации определяли на атомно-абсорбционном спектрометре nov AA 300 (Analitik Jena, Германия).

В процессе роста древостоев в условиях постоянного воздействия внешних неблагоприятных факторов, например техногенного загрязнения воздуха и почвы, большое значение имеет оценка дифференциации деревьев и взаимосвязей таксационных показателей. Распределение числа деревьев по ступеням толщины является одним из основных показателей в строении древостоев. На различия в условиях среды дерева, прежде всего, реагируют изменением величины диаметра. Дифференциация древесных растений как эколого-биологический процесс и возрастная динамика строения древостоев определяется их состоянием, ростом и развитием [16].

В одновозрастных насаждениях распределение деревьев по ступеням толщины стремится к эталонной модели строения древостоев, описываемой кривой нормального распределения [15]. На ОУ нами изучалось распределение деревьев по ступеням толщины в зависимости от уровня загрязнения. Установлено, что на загрязненных участках распределение по данному показателю существенно отличается от древостоев контрольного участка. Подобная закономерность отмечается во многих научных работах [8, 9, 17]. Авторы указывают, что под влиянием процессов деградации, спровоцированных влиянием поллютантов, происходит изменение многих показателей строения древостоев (в том числе в строении по диаметру). В общих чертах изменение структуры древостоев идет в направлении упрощения их организации.

Некоторые авторы считают, что под влиянием эмиссий токсичных веществ ускоряются процессы старения организмов и сообществ. Характер перестройки рядов распределения под влиянием усиливающейся дигрессии практически имитирует возрастную перестройку древостоев [18].

Число деревьев с диаметром меньше среднего в зонах загрязнения, выше, чем в контроле. В контроле данный показатель составляет 49%, в зоне слабого загрязнения – 65%, в зоне среднего загрязнения – 76%, в зоне сильного загрязнения – 55%.

Выпадение данного показателя в зоне сильного загрязнения из общей закономерности можно объяснить отсутствием здесь сомкнутого древостоя (рис. 1). Установлено, что чем выше уровень нагрузки, тем сильнее отклоняются кривые распределения от нормальных кривых в сторону снижения диаметра.

На рис. 2 видно, как изменяются объемы выбросов с 1980 по 2013 г. Пиком для твердых стал 1995 г., а увеличение газообразных выбросов в период с 2002 по 2011 г. произошло в 4 раза, по сравнению с предыдущими годами [7].

Длительное воздействие аэропромвыбросов в виде пыли и газов приводит к повреждению деревьев, как непосредственно воздействуя на ассимиляционный аппарат, так и опосредованно через почву. По мере приближения к источнику загрязнения, показатель актуальной кислотности ( $pH_{H_2O}$ ) в почве увеличивается (табл. 1). В 2005 г. в зоне сильного воздействия в послойном анализе выявлено увеличение актуальной кислотности почвы на 1,3 по сравнению с контролем, в зоне среднего загрязнения – на 0,9 ед. рН.

Анализ полученных данных за период наблюдений показал, что с 1983 по 1990 г. показатель  $pH_{H_2O}$  несколько уменьшался, а в 2005 г. опять увеличился. С 1978 по 1983 г. количество годовых аэропромвыбросов (после установки электрофильтров) находилось в объеме 30 тыс. т в год. С 1985 по 1990 гг. объемы выбросов уменьшились до 26 тыс. т в год. С 1999 по 2001 г. количество выбросов составляло 18 тыс. т в год, а в 2002 г. 16 тыс. т в год. Снижение показателя  $pH_{H_2O}$  в почве при снижении выбросов промышленных предприятий отмечено во многих работах [1, 9, 12]. В результате исследований, проведенных нами с 1983 по 2010 г. выявлено снижение актуальной кислотности почвы в верхних горизонтах в зонах среднего и слабого воздействия на 0,2–0,5 ед. рН. На опытных участках в зоне сильного загрязнения снижение данного показателя не обнаружено. Самоочищение почвы в зоне сильного загрязнения происходит крайне медленно, даже при снижении или полном прекращении выбросов в результате низкой подвижности металлов в щелочной среде [19]. Возможно, самоочищение почв в зонах среднего и слабого воздействия произойдет интенсивнее при условии более значительного сокращения объемов газообразных выбросов (пары щелочей, серный ангидрид и фтор), определяющих токсическую нагрузку на почвы и растения.

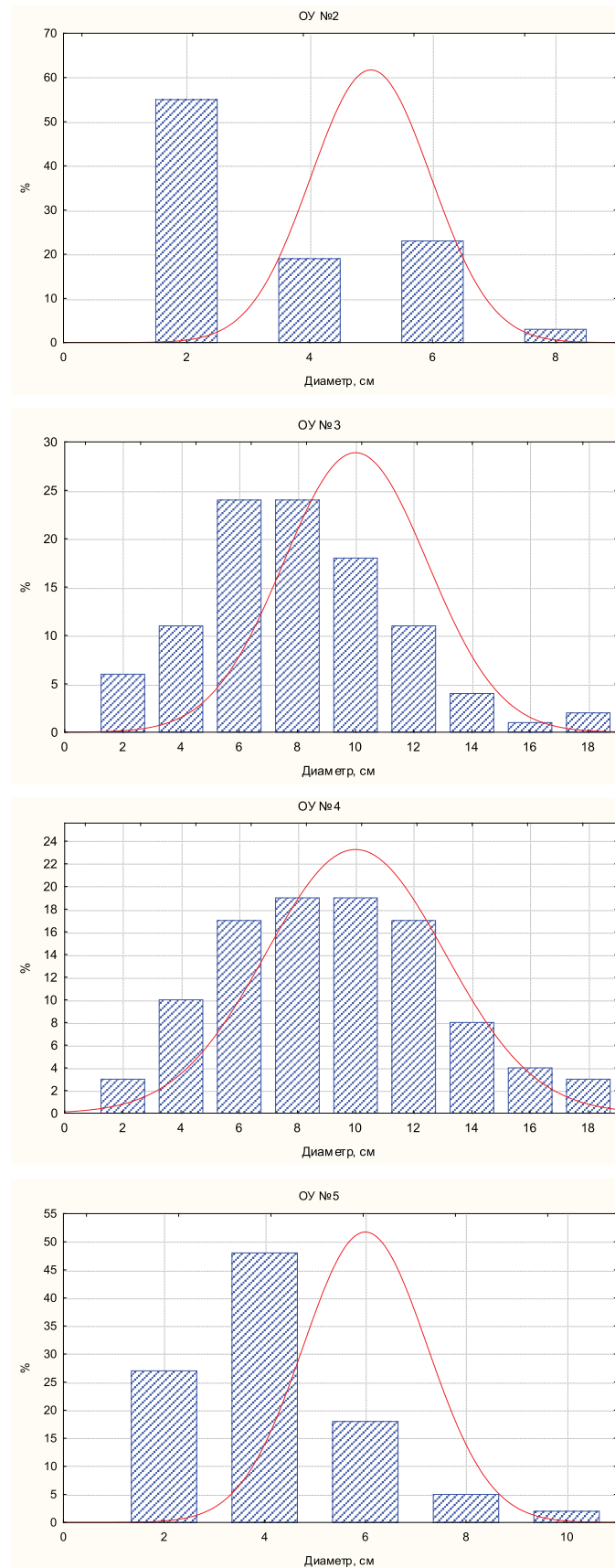


Рис. 1. Распределение деревьев по ступеням толщины на ОУ (линией показана кривая нормального распределения)

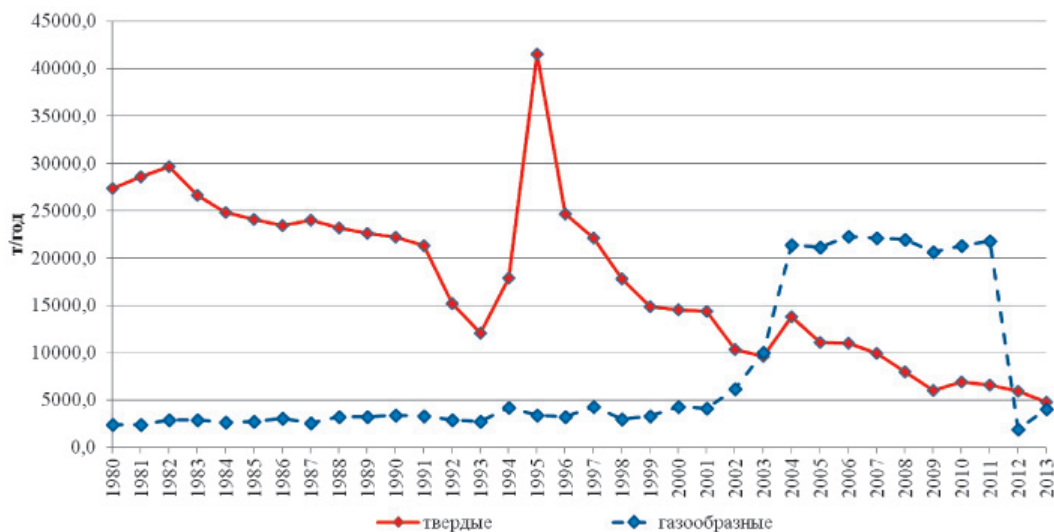


Рис. 2. Выбросы в атмосферу ОАО «Комбинат «Магнезит»» (т/г)

Таблица 1

Изменение актуальной кислотности в различных зонах магнезитового загрязнения в верхнем (0–10 см) слое почвы в разные годы

№ ОУ	рН <sub>Н<sub>2</sub>О</sub> по годам				
	1983	1990	2005	2009	2010
Зона сильного загрязнения					
2	8,9	8,2	8,9	8,8	8,9
Зона среднего загрязнения					
5	8,8	8,0	8,5	8,0	8,3
Зона слабого загрязнения					
3	7,8	7,3	7,4	7,8	7,6
Условный контроль (близкие к фоновым)					
4	7,7	7,0	7,6	7,4	7,3

В исследуемой почве по зонам загрязнения анализ на содержание тяжелых металлов (Pb, Co, Ni) показал, что содержание тяжелых металлов вверх по профилю почвы увеличивается, что указывает на их аккумуляцию в верхних почвенных горизонтах с поверхности (табл. 2).

Известно, что в условиях загрязнения подстилка является одним из основных источников аккумуляции поллютантов в процессе вымывания осадками и оседания в виде пыли из атмосферы. Содержание всех анализируемых элементов в подстилке выше на 60–80% в условиях сильного воздействия, чем в зоне слабого воздействия выбросов комбината. Ранее нами отмечалось повышенное содержание железа и марганца в снеговой воде в фоновых условиях [9].

Биогенность марганца в почве в слое (0–10) эквивалентна в зоне сильного воздействия и в фоновых условиях, однако в фоновых условиях прослеживается снижение содержания металла вниз по профилю (табл. 2). Эмиссия в атмосферный воздух соединений марганца и железа по всем ОУ обусловлена выбросами не только комбината, но и ОАО «Саткинский чугуноплавильный завод».

Кадмий встречается в зоне сильного и среднего загрязнения в верхнем слое и в подстилке. Кларковый уровень содержания данного элемента в почве составляет  $0,01 \cdot 10^{-3} \%$ . В зоне сильного загрязнения (ОУ-2) содержание кадмия в верхнем слое почвы выше условного контроля в 15 раз. Известно, что кадмий примерно в 10 раз токсичнее свинца.

Таблица 2

Содержание металлов в почве на ОУ,  $n \cdot 10^{-3}\%$ , 2010 г.

Название участка	Глубина взятия образца	Элементы, $n \cdot 10^{-3}\%$							
		Zn	Pb	Cd	Co	Ni	Cu	Fe	Mn
ОУ – 2/1	0–10	4,4	1,1	0,15	2,3	0,6	0,1	18,4	46,3
	10–20	2,4	0,3	0,005	1,6	0,3	0,1	11,0	25,7
	20–30	0,4	0,02	0,003	1,7	0,2	0,05	19,7	11,7
ОУ – 5/3	0–10	4,6	1,1	0,05	0,7	0,3	0,09	5,0	18,9
	10–20	0,4	0,3	не обнаружены	0,6	0,1	не обнаружены	5,6	13,5
	20–30	0,3	не обнаружены	не обнаружены	0,5	0,08	0,02	2,1	3,6
	30–40	0,2	0,06	не обнаружены	0,7	0,1	0,01	1,2	2,7
	40–50	0,2	0,1	не обнаружены	0,9	0,1	0,02	0,4	24,6
ОУ – 3/5	0–10	1,1	0,5	0,02	1,0	0,3	0,06	4,8	17,0
	10–20	0,2	не обнаружены	0,05	1,1	0,04	0,01	1,0	59,4
	20–30	0,06	не обнаружены	не обнаружены	1,2	0,1	не обнаружены	0,4	3,0
	30–40	0,06	0,6	не обнаружены	0,5	0,02	не обнаружены	1,0	1,9
	40–50	0,2	0,01	не обнаружены	0,7	0,09	0,01	1,5	0,6
	50–60	0,2	не обнаружены	не обнаружены	0,7	0,1	0,02	2,8	0,8
	60–70	0,05	0,3	не обнаружены	2,3	0,2	0,02	3,8	36,5
ОУ – 4/10	0–10	1,4	не обнаружены	0,03	0,6	0,3	0,07	3,5	14,8
	10–20	0,2	0,4	не обнаружены	0,7	0,1	0,04	1,2	2,3
	20–30	0,09	0,2	не обнаружены	1,4	0,2	не обнаружены	0,8	4,7
	30–40	0,08	0,5	не обнаружены	0,6	0,2	0,01	не обнаружены	не обнаружены
	40–50	0,04	0,3	не обнаружены	0,7	0,07	0,00	0,8	3,4
	50–60	0,05	0,2	не обнаружены	0,8	0,1	0,02	2,4	2,7
	60–70	0,06	0,2	не обнаружены	2,1	0,1	0,01	2,4	19,1
ППП-6К/20	0–2	2,4	0,1	0,02	1,1	0,4	0,06	5,6	47,1
	2,1–8	1,0	0,4	0,02	1,2	0,5	0,09	19,3	40,0
	8,1–13	0,2	0,4	0,02	1,1	0,7	0,2	39,2	5,0
	13,1–42	0,1	0,3	не обнаружены	0,5	0,6	0,1	20,6	2,4
	42,1–55	0,19	0,3	0,003	0,5	0,70	0,1	15,8	7,2
К1/25	0–1	2,9	0,4	0,01	0,02	не обнаружены	0,05	1,0	41,2
	1,1–11	0,6	0,2	не обнаружены	не обнаружены	0,08	0,09	0,3	36,2
	11,1–17	0,2	0,02	не обнаружены	не обнаружены	0,07	0,07	0,4	13,0
	17,1–34	0,04	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	0,08	0,1	0,6	6,5
	34,1–60	0,03	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	0,10	0,08	0,9	6,6

Таким образом, по содержанию металлов в почве на загрязненной территории можно построить следующий ряд (по мере убывания):  $Mn > Fe > Zn > Co > Pb > Ni > Cd > Cu$ .

По результатам наших исследований при снижении выбросов комбината за 26-летний период происходит частичное самоочищение почвы в результате снижения содержания обменного магния по отношению к кальцию на фоне высокой актуальной кислотности почвы. В зоне сильного загрязнения (ОУ-2) с 1983 г. по 2009 г. произошло снижение соотношения обменного магния к кальцию с 7,5 до 2,0, а в зоне среднего (ОУ-5) – с 5,1 до 2,0 соответственно.

### Выводы

1. Установлено, что на загрязненных участках распределение деревьев по ступеням толщины существенно отличаются от древостоев контрольного участка: чем выше уровень техногенной нагрузки, тем сильнее отклоняются кривые распределения от нормальных кривых в сторону снижения диаметра.

2. По содержанию металлов в почве на загрязненной территории можно построить следующий ряд (по мере убывания):  $Mn > Fe > Zn > Co > Pb > Ni > Cd > Cu$ .

3. Содержание анализируемых элементов (кроме марганца и железа) в подстилке выше на 60–80% в условиях сильного воздействия, чем в зоне слабого воздействия комбината.

### Список литературы

1. Воробейчик Е.Л. Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов Среднеуральского медеплавильного завода / Е.Л. Воробейчик, М.Р. Трубина, Е.В. Хантемирова, И.Е. Бергман // Экология. – 2014. – № 6. – С. 448–458.

2. Завьялов К.Е. Состояние березовых культур в условиях магнетитового загрязнения / К.Е. Завьялов, С.Л. Менщиков // Аграрная Россия. Специальный выпуск. – 2009. – С. 60–61.

3. Завьялов К.Е., Менщиков С.Л. Надземная фитомасса опытных культур березы повислой в условиях загрязнения магнетитовой пылью / К.Е. Завьялов, С.Л. Менщиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 4(28). – С. 27–30.

4. Завьялов К.Е. Динамика роста опытных культур (*Pinus sylvestris* L., *Betula Pendula Roth*, *Larix sukaczewii* D у l.) в условиях аэротехногенных выбросов магнетитового производства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 5(37). – С. 20–22.

5. Завьялов К.Е. Морфология и химический состав листьев опытных культур березы повислой (*Betula Pendula Roth*) в условиях магнетитового загрязнения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3(41). – С. 230–232.

6. Завьялов К.Е. Состояние сосновых древостоев зелёной зоны г. Сатка, подверженных аэротехногенным выбросам магнетитового производства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6(56). – С. 57–59.

7. Комплексные доклады 2003–2012 г.г. [Электронный ресурс] / URL: <http://mineco174.ru/media/kompleksnyedoklady> (дата обращения 07.02.2015).

8. Коротков С.А. Особенности формирования ельников в условиях антропогенного стресса (на примере лесов Клиско-Дмитриевской гряды): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М.: 1998. – 24 с.

9. Кузьмина Н.А. Влияние аэротехногенных выбросов магнетитового производства на химический состав снеговой воды и почвы в динамике / Н.А. Кузьмина, С.Л. Менщиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6(56). – С. 192–195.

10. Махнева С.Г., Мохначев П.Е., Менщиков С.Л. Влияние почвенных условий и происхождения семян сосны обыкновенной на их лабораторную и грунтовую всхожесть / С.Г. Махнева, П.Е. Мохначев, С.Л. Менщиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3(41). – С. 10–12.

11. Менщиков С.Л. Особенности химизма почв и анатомо-морфологического строения ассимиляционного аппарата сосны и березы в условиях магнетитового запыления // Экология. – 1987. – № 5. – С. 84–87.

12. Менщиков С.Л. Воздействие атмосферных выбросов магнетитового производства на почвы и снеговой покров / С.Л. Менщиков, Н.А. Кузьмина, П.Е. Мохначев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 5(37). – С. 221–224.

13. Мохначев П.Е. Особенности репродукции сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях загрязнения магнетитовой пылью / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3(41). – С. 8–9.

14. Мохначев П.Е. Женская генеративная сфера сосны обыкновенной в условиях магнетитового загрязнения // Лесные биогеоценозы Бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. – Красноярск, 2014. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 348–351.

15. Свалов С.Н. Применение статистических методов в лесоводстве // Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1985. – 164 с.

16. Соловьев В.М. Способы изучения роста и дифференциации древесных растений при совместном произрастании // Леса Урала и хозяйство в них. – Екатеринбург, 2003. – Вып. 3. – С. 85–89.

17. Смит У.Х. Лес и атмосфера. – М.: Прогресс, 1985. – 429 с.

18. Цветков В.Ф., Цветков И.В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. – Архангельск: ОГУП «Соломбальская типография», 2003. – 354 с.

19. Barcan V. Leaching of nickel and copper from soil contaminated by metallurgical dust // Environ. Int. – 2002. – Vol. 28, № 1–2. – P. 63–68.