

## ОЦЕНКА РЕОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛЕСОПОЛОС НА АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ПОЧВАХ

### EVALUATION OF SOIL STRUCTURE RECOVERY UNDER THE EFFECT OF TREE WINDBREAK CULTIVATION ON ANTHROPOGENICALLY DISTURBED SOILS BY RHEOLOGICAL METHODS

**Ключевые слова:** почвы, структура, реология, вязкоупругое поведение, механическая устойчивость, органическое вещество.

Известно, что под влиянием лесополос уменьшается плотность почвы, увеличиваются водопроницаемость, содержание органического вещества, в сухостепной зоне улучшается водный режим почв лесополос, увеличивается доступность влаги для растений. Происходящие изменения в почве под воздействием лесополос должны влиять и на микроструктурное состояние почв. Сравнение реологических параметров структурной организации почвенных частиц чернозема типичного, находящегося в сельскохозяйственном обороте и под прилегающей лесополосой, явилось целью исследования. Определение реологических параметров было проведено методом амплитудной развертки на модульном реометре MCR-302 (Anton-Paar, Austria). Были определены следующие параметры: модуль накопления, модуль потерь, область линейной вязкоупругой деформации, точка пересечения модулей, фактор потерь, интегральная зона фактора потерь. Установлено, что по всем реологическим параметрам почвы лесополосы значительно более устойчивы, чем почва пашни.

**Keywords:** soil, structure, rheology, viscoelastic behavior, mechanical stability, organic matter.

It is known that soil density decreases, water permeability increases, and organic matter content increases under the effect of tree windbreaks. The soil water regime of windbreaks improves in a dry-steppe zone; the availability of moisture to plants increases. The occurring changes in the soil properties under the influence of windbreaks have to impact on microstructural state of soils. The comparison of rheological parameters of the structural organization of soil particles of typical chernozem, being in agricultural use, and those under an adjacent windbreak was the research goal. The determination of rheological parameters was performed by amplitude sweep test with MCR-302 modular rheometer (Anton-Paar, Austria). The following parameters were determined: elastic modulus, loss modulus, linear viscoelastic range, cross point of modules, factor of losses, and integral zone of the factor of losses. It is found that in terms of all rheological parameters the soils of windbreaks are characterized by much greater stability than the soils of arable land.

**Хайдапова Долгор Доржиевна**, к.б.н., доцент, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 939-36-84. E-mail: dkhaydapova@yandex.ru.

**Милановский Евгений Юрьевич**, д.б.н., доцент, вед. н.с., фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 939-01-64. E-mail: milanovskiy@gmail.com.

**Честнова Вера Васильевна**, аспирант, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. E-mail: chestnova\_vera@mail.ru.

**Khaydapova Dolgor Dorzhiyevna**, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 939-36-84. E-mail: dkhaydapova@yandex.ru.

**Milanovskiy Yevgeniy Yuryevich**, Dr. Bio. Sci., Assoc. Prof., Leading Staff Scientist, Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 939-01-64. E-mail: milanovskiy@gmail.com.

**Chestnova Vera Vasilyevna**, Post-Graduate Student, Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. E-mail: chestnova\_vera@mail.ru.

#### Введение

Защитные насаждения на сельскохозяйственных землях организуют ландшафт, очищают атмосферу от пыли, обогащают окружающую атмосферу кислородом, влияют на ряд процессов, идущих в почве. Известно, что под влиянием лесополос уменьшается плотность почвы, увеличиваются водопроницаемость, содержание органического вещества, в сухостепной зоне улучшается водный режим почв лесополос, увеличивается доступность влаги для растений [2, 3]. Происхо-

дящие изменения в почве под воздействием лесополос должны влиять и на микроструктурное состояние почв. В последнее время структурные особенности почв активно исследуются с использованием реологических методов [6, 7, 9]. Развитие современной техники, появление новых приборов, таких как модульный компактный реометр MCR-302 (Anton-Paar, Austria) [8] с широкими возможностями высокоточных измерений поведения материалов, позволяют получить ряд оригинальных реологических параметров поведе-

ния почв на микроструктурном уровне и идентифицировать происходящие изменения в структуре как положительного, так и отрицательного свойства.

**Целью исследования** явилось выявление восстанавливающей роли выращивания лесополос на структурное состояние длительно пахотных почв.

**Объекты и методы**

Объектом исследования были выбраны верхние слои (0-10 см) горизонта А чернозема типичного опытного поля Курского НИИ агропромышленного производства (Курская область) и прилегающей лесополосы, посаженной 60 лет тому назад на ранее пахотном поле. Гранулометрический анализ проведен методом лазерной дифракции частиц ANALYSETTE-22 (Germany) [5]. По гранулометрическому составу по классификации Качинского, почвы обоих участков относятся к среднему суглинку крупно-пылеватому (табл. 1). Валовое содержание углерода определяли методом сжигания углерода в потоке кислорода в автоматическом анализаторе AN-7529 [5]. По содержанию органического вещества (ОВ) выбранные участки резко различаются: в почве лесополосы содержание ОВ составляет 6,1%, а в почве пахотной – 3,42%.

Для оценки структурного состояния почв был проведен анализ распределения агрегатов по размерам методом автоматического рассеивания на ситах с помощью вибрационной установки AS 200 control (табл. 2) [5].

Распределение агрегатов по размерам показало, что в лесополосе максимальное содержание агрегатов (30%) приходится на оптимальный размер 3-5 мм. Максимальное содержание агрегатов чернозема пашни (19%) имеет размер от 0,5 до 1 мм. В пахотных почвах наблюдается увеличение содержания глыбистой и мелких фракций (<0,25 мм). Очевидно, худшее структурное состояние почвы пашни в сравнении с почвой под лесополосой.

Реологические параметры поведения почвенных паст были определены методом амплитудной развертки на модульном реометре MCR-302 (Anton Paar, Austria) [8]. Колебательные методы, проводимые параллельными плато реометра MCR-302, применены и рекомендованы рядом исследователей, как

подходящие методы для определения механического поведения почв [6, 9]. Нами были определены следующие параметры: модуль накопления, модуль потерь, область линейной вязкоупругой деформации, точка пересечения модулей, фактор потерь, интегральная зона фактора потерь. Модуль упругости ( $G'$ , Па) является мерой энергии деформации, сохраненной образцом во время процесса сдвига. После прекращения сдвигового усилия эта энергия действует как движущая сила для процесса восстановления полученных деформаций. Материалы, которые сохраняют полностью примененную энергию деформации, показывают поведение абсолютно обратимой деформации. Таким образом, модуль упругости представляет упругость материала [8]. Модуль потерь ( $G''$ , Па) или вязкости является мерой энергии деформации, израсходованной образцом во время сдвигового процесса и потерянной. Эта энергия тратится во время процесса изменения структуры материала, т.е. движения между молекулами, группами, частицами, совокупностями или другими компонентами структуры, такими как «домены». Существуют силы трения между этими компонентами, и, как следствие, происходит повышение температуры. Часть этой энергии подогревает образец, а другая часть теряется в форме тепла в окружающую среду. Теряющие энергию материалы показывают необратимое деформационное поведение. Таким образом, модуль потерь представляет вязкое поведение исследуемого материала [8]. Фактор потерь вычислен как отношение потерянной к сохраненной энергии деформации и показывает отношение вязкой и упругой частей вязкоупругого поведения деформации  $\tan \sigma = G''/G'$ . Если фактор потерь меньше 1, или модуль упругости больше модуля вязкости, то вещество имеет характер геля. Если фактор потерь больше 1 или модуль вязкости больше модуля упругости, то вязкое поведение доминирует. Если модуль вязкости и модуль упругости равны, то фактор потерь равен 1, образуется точка пересечения. Для дальнейшего сравнения определена интегральная зона  $z$  фактора потерь с пределами деформации от 0,001% до точки пересечения модулей при факторе потерь, равном 1.

Таблица 1

*Гранулометрический состав и содержание углерода в исследуемых почвах*

Объекты	Размеры частиц, мкм, содержание, %						C, %
	<1	5-1	10-5	50-10	250-50	>250	
Пашня	8,14	27,86	13,39	31,74	7,45	11,42	3,42
Лесополоса	5,77	18,6	12,01	31,83	30,01	1,78	6,1

Распределение агрегатов по размерам, содержание, %

Объекты	Размеры фракций агрегатов, мм								
	>10	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1,0	0,25-0,5	0,10-0,25
Лесополоса	1,1	5,2	12,2	29,9	27,1	16,9	3,5	1,2	0,9
Пашня	6,7	4,0	4,5	7,2	8,4	16,5	18,6	14	9,8

**Результаты и обсуждение**

Реологические параметры почвенных паст, определенные методом амплитудной развертки, показали различные свойства поверхности почвенных частиц лесополосы и пашни.

На рисунке показаны зависимости модулей упругости и вязкости от величины деформации. Область линейной вязкоупругости или диапазон упругого неразрушенного состояния для почвы лесополосы распространяется до 0,036% деформации, а для пашни эта величина в два раза меньше – 0,018% (табл. 3). Пересечение модулей упругости и вязкости ( $G', G''$ ) или разрушение структуры, когда модуль упругости становится равным модулю вязкости в почве лесополосы наступает при деформации 10,8%, а в почве пашни – при 4,2% деформации. Сравнительная

характеристика – интегральная зона фактора потерь меньше 1 показывает область поведения почвенных паст до разрушения. Область поведения до разрушения для почвы лесополосы значительно больше таковой для почвы пашни (для почвы лесополосы – 2,9, для почвы пашни – 1,7).

Все реологические параметры почвы лесополосы превышают таковые пашни. Почва лесополосы обладает более упругими свойствами, чем почва пашни, проявляет большую устойчивость под нагрузкой, это говорит о значительно большей структурной устойчивости почв лесополосы.

Таким образом, можно сделать вывод о роли лесополос как восстановительного фактора структурного состояния почв.

Модули упругости и вязкости чернозема под лесополосой и пахотного поля

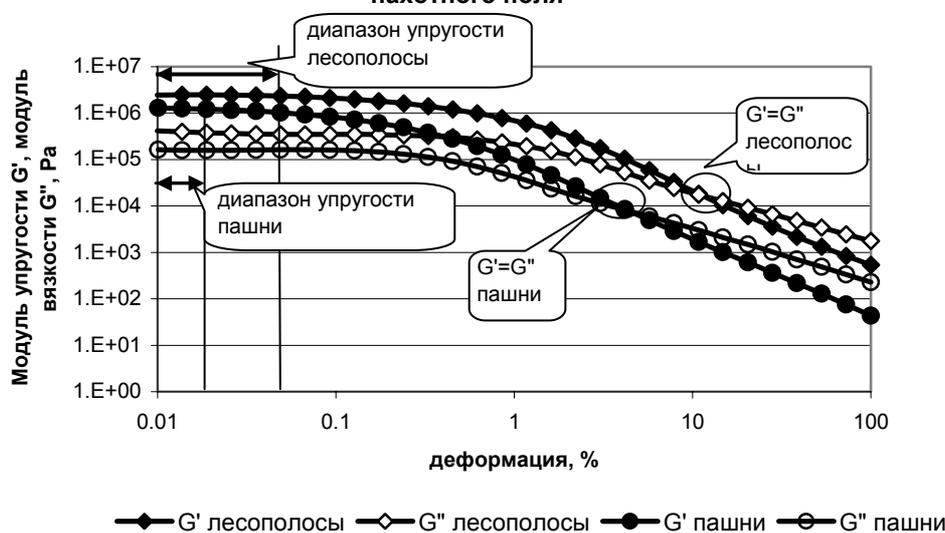


Рис. Модули упругости и вязкости черноземов под лесополосой и пашней

Реологические параметры исследуемых почв

Объект	Диапазон упругого состояния		Пересечение модулей $G' = G''$		фактор потерь $\tan \sigma = G''/G'$
	модуль упругости, $G', Pa$	деформация $\gamma, \%$	$Pa$	деформация $\gamma, \%$	
Лесополоса	$2,4 \cdot 10^6$	0,036	$1,8 \cdot 10^4$	10,8	2,9
Пашня	$1,2 \cdot 10^6$	0,018	$8,3 \cdot 10^3$	4,2	1,7

Что же является в почвах под лесными насаждениями структурообразующим элементом? Очевидно, органическое вещество, которое отличается от органического вещества пахотных почв большим содержанием активных функциональных групп. А.С. Байко отмечал, что содержание гумуса и качество структуры чернозема под пятидесятилетними лесными полосами дуба (при отсутствии травянистой растительности) не уступают чернозему многолетней некосимой залежи и существенно превышают варианты с травопольной системой [1]. Причину увеличения гумуса, азота и улучшения структуры А.С. Байко связывает с водорастворимым гуминовыми кислотами: «Вымываясь из подстилки в почву, они пропитывают структурные отдельности и, переходя из золя в гель, способствуют прочности агрегатов» [1]. Как показали исследования Е.Ю. Милановского и др., длительная вспашка приводит к существенному уменьшению содержания гидрофильных компонентов в составе гумусовых веществ по сравнению с целинными вариантами [4]. Вероятно, уменьшение содержания гидрофильных компонентов с активными функциональными группами в пахотных почвах приводит к нарушению микроструктурной организации почвенных частиц и ухудшению структурного состояния почв.

В почвах лесополос увеличение общего содержания органического вещества в результате меньшей интенсивности минерализации способствует сохранению гидрофильной части гумусовых веществ, которые, по видимому, и служат связующим элементом почвенных частиц.

#### Выводы

1. Определение реологических параметров почв лесополосы и пашни показало значительную структурную устойчивость почв лесополосы по сравнению с пашней.
2. Выращивание лесополос на антропогенно нарушенных почвах приводит к восстановлению структурных свойств почв.
3. Применение метода амплитудной развертки на реометре MCR-302 для исследований структурных свойств почв показало высокую чувствительность метода и большую информативность полученных результатов.

#### Библиографический список

1. Байко А.С. Воздействие лесных полос в Каменной степи // Вопросы травопольной системы земледелия. – М.: Наука, 1953. – Т. 2. – С. 423-437.
2. Карпачевский Л.О., Боровинская Л.Б., Хайдапова Д.Д. Особенности водного режима лесных полос в сухостепной зоне // Почвоведение. – 1988. – № 3. – С. 39-52.
3. Карпачевский Л.О., Хайдапова Д.Д. Закономерности влагопереноса в светло-

каштановой почве под лесополосами Волгоградской области // Почвоведение. – № 9. – С. 85-92.

4. Милановский Е.Ю., Тюгай З.Н., Шейн Е.В., Васильева Н.А. Водоустойчивость и органическое вещество черноземов под степью и «вечным паром» Центрально-черноземного государственного заповедника. Особо охраняемые природные территории Курской области // Матер. науч.-практ. конф. (пос. Заповедный, Курская область). – Курск, 2004. – С. 76-81.

5. Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д., Поздняков А.И., Тюгай З.Н., Початкова Т.Н., Черноморченко Н.И., Манучаров А.С. Практикум по физике твердой фазы почв.: учеб. пособ. – М.: Гриф и К, 2011. – 63 с.

6. Khaydapova D.D., Milanovskiy E.Yu. Influence of Organic Matter on Rheological Properties of Chernozem // IV International Conference on Colloid Chemistry and Physicochemical Mechanics (30.June – 05.July, 2013) Book of Abstracts. – P. 531-532.

7. Khaydapova D., Milanovskiy E.Yu., Shein E.V. Impact of Anthropogenic Load on Rheological Properties of Typical Chernozems (Kursk Region, Russia). Soil Degradation, Advances in Geocology 42, Catena Verlag GMBH Germany, 2013. – P. 62-71.

8. Mezger T.G. The Rheology Handbook. 2011. 3-rd Revised Edition, Hanover, Germany. – P. 436.

9. Markgraf W., Horn R., Peth S. 2006. An approach to rheometry in soil mechanic-structural changes in bentonite, clayey and silty soils. Soil and Tillage Research 91. – P. 1-14.

#### References

1. Baiko A.S. Vozdeistvie lesnykh polos v Kamennoi stepi // Voprosy travopol'noi sistemy zemledeliya. – M.: Nauka, 1953. – T. 2. – S. 423-437.
2. Karpachevskii L.O., Borovinskaya L.B., Khaidapova D.D. Osobennosti vodnogo rezhima lesnykh polos v sukhostepnoi zone // Pochvovedenie. – 1988. – № 3. – S. 39-52.
3. Karpachevskii L.O., Khaidapova D.D. Zakonomernosti vlagoperenosa v svetlokahtanovoi pochve pod lesopolosami Volgogradskoi oblasti // Pochvovedenie. – 1988. – № 9. – S. 85-92.
4. Milanovskii E.Yu., Tyugai Z.N., Shein E.V., Vasil'eva N.A. Vodoustoichivost' i organicheskoe veshchestvo chernozemov pod step'yu i «vechnym parom» Tsentral'no-chernozemnogo gosudarstvennogo zapovednika. Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Kurskoi oblasti // Mater. nauchn.-prakt. konf. (pos. Zapovednyi, Kurskaya oblast'). – Kursk, 2004. – S. 76-81.
5. Milanovskii E.Yu., Khaidapova D.D., Pozdnyakov A.I., Tyugai Z.N., Pochatko-

va T.N., Chernomorchenko N.I., Manucharov A.S. Praktikum po fizike tverdoi fazy pochv. Uchebnoe posobie. – M.: Grif i K, 2011. – 63 s.

6. Khaydapova D.D., Milanovskiy E.Yu. Influence of Organic Matter on Rheological Properties of Chernozem // IV International Conference on Colloid Chemistry and Physicochemical Mechanics (30.June – 05.July, 2013) Book of Abstracts. – P. 531-532.

7. Khaydapova D., Milanovskiy E.Yu., Shein E.V. Impact of Antropogenic Load on

Rheological Properties of Typical Chernozems (Kursk Region, Russia). Soil Degradation, Advances in Geocology 42, Catena Verlag GMBH Germany, 2013. – P. 62-71.

8. Mezger T.G. The Rheology Handbook. 2011. 3-rd Revised Edition, Hanover, Germany. – P. 436.

9. Markgraf W., Horn R., Peth S. 2006. An approach to rheometry in soil mechanic-structural changes in bentonite, clayey and silty soils. Soil and Tillage Research 91. – P. 1-14.



УДК 631.4:63.53

**В.М. Гончаров**  
**V.M. Goncharov**

## АГРОФИЗИКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

### AGROPHYSICS OF SOIL COVER

**Ключевые слова:** агрофизика, серые лесные почвы, водообеспеченность, водоудерживающая способность, водопроницаемость, индекс оптимальности режима, математическое моделирование.

Представлены результаты комплексной агрофизической оценки фоновых серых лесных почв и почв со вторым гумусовым горизонтом, проведенной на основе модельных расчетов их водно-воздушного режима. В качестве экспериментальной основы для модели были использованы результаты исследований основных физических свойств почв и их водоудерживающей способности. Обосновано, что получение пространственно-распределенной агрофизической информации и комплексных показателей, аккумулирующих в себе характеристики водно-воздушного режима почв, дает возможность оценить агрофизические условия в пределах изучаемого ландшафта. Использование именно такого рода агрофизических подходов позволяет применить современные взгляды и методы агрофизики к развиваемым методам ландшафтного земледелия.

**Keywords:** agrophysics, gray forest soils, water availability, water retention, water permeability, regime optimality index, mathematical modeling.

The paper presents the results of a comprehensive agrophysical evaluation of background gray forest soils and soils with the second humus horizon; the evaluation was performed on the basis of model calculations of the soils' water-air regime. The results of the studies of the basic physical properties of the soils and their water-holding capacity were used as the experimental basis for the model. It is proved that by obtaining spatially distributed agrophysical information and integrated indicators which accumulate the features of soil water-air regime it is possible to evaluate the agrophysical conditions within the studied landscape. The use of these particular agrophysical approaches enables applying modern views and methods of agrophysics to the developed methods of landscape specific agriculture.

**Гончаров Владимир Михайлович**, к.б.н., доцент, зам. декана, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 939-29-47. E-mail: main@soil.msu.ru.

**Goncharov Vladimir Mikhaylovich**, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Vice-Dean, Soil Science Dept., Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 939-29-47. E-mail: main@soil.msu.ru.

В последнее время большое внимание уделяется проблеме неоднородности почв и почвенных свойств. В основном это связано с развитием точного земледелия «high-tech sustainable agriculture», основанного на учете пространственной вариативности характеристик конкретного поля.

Неоднородность почвенного покрова является основной причиной значительного варьирования физических свойств почв. При этом возникают вопросы соответствия закономерностей пространственного распределения физических и почвенно-генетических свойств, особенностей пространственного варьирования физических свойств [1].