

# АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.439

Е.В. Шейн, А.Г. Болотов, Д.Д. Хайдапова,  
Е.Ю. Милановский, З.Н. Тюгай, Т.Н. Початкова  
Ye.V Shein, A.G. Bolotov, D.D. Khaydapova,  
Ye.Yu. Milanovskiy, Z.N. Tyugay, T.N. Pochatkova

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ

### RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THE CHERNOZEMS OF THE ALTAI PRIOBYE (THE OB RIVER AREA)

**Ключевые слова:** чернозём, реологические свойства почв, метод амплитудной развертки, предел текучести.

Рассмотрен динамический метод амплитудной развертки для исследования реологических свойств почв, который можно рекомендовать для оценки устойчивости структурного состояния почв механическим воздействиям. В отличие от ротационных вискозиметров и реометров с цилиндрическими измерительными устройствами метод амплитудной развертки с измерительной системой параллельных плато позволяет изучать реологические свойства почв любой разновидности нарушенного и ненарушенного сложения. В результате выполненной работы были исследованы реологические свойства черноземов обыкновенных и выщелоченных среднесуглинистых умеренно засушливой и колючей степи Алтайского края. В ходе работы отмечен высокий уровень чувствительности метода амплитудной развертки к содержанию органического вещества и карбонатов в почве. Найдена величина напряжения сдвига, начиная с которой рекомендуется анализировать полученные на реометре экспериментальные данные. Установлена линейная зависимость предела текучести и интегральной величины  $Z$  от содержания органического вещества и капиллярно-сорбционного потенциала влаги для черноземов Алтайского Приобья. Анализ профилейного распределения предела текучести показал, что его значение в гор. А выше, чем в подстилающих горизонтах, что обусловлено большим содержанием органического углерода. Также увеличение предела текучести отмечено в подпахотном горизонте и в гор. Ск. Исследованы реологические свойства черноземов в условиях агрогенеза. Выявлено, что интегральная величина  $Z$  гумусово-аккумулятивного горизонта залежи больше в два раза, чем на пашне. Поэтому залежные почвы деформируются в большей степени, чем пахотные, прежде чем наступает этап структурного разрушения, т.е. более устойчивы к внешним механическим воздействиям.

**Keywords:** chernozem, soil rheological properties, amplitude sweep test (AST), yield point.

The paper discusses the dynamic technique of amplitude sweep test (AST) for studying soil rheological properties which may be proposed to evaluate the stability of soil structure against mechanical stress. In contrast to rotational viscometers and rheometers with cylindrical measuring devices, AST technique with the measuring system of parallel plates enables investigating the rheological properties of soils of any disturbed and undisturbed consistency. The research involved the investigation of the rheological properties of ordinary chernozems and leached medium loamy chernozems of temperately arid and forest-outlier steppe of the Altai Region. The research revealed a high level of AST technique sensitivity to organic matter content and carbonate content in soil. The shear stress value has been found from which it is proposed to analyze the experimental data obtained with rheometer. A linear dependence of the yield point and the integral value  $Z$  on the organic matter content and capillary and sorption moisture potential for the chernozems of the Altai Priobye was determined. The analysis of the profile distribution of the yield stress showed that its value in the A horizon was greater than that in the underlying horizons due to greater content of organic carbon. The increase in the yield stress was also revealed in the subsurface horizon and calcareous C horizon. The rheological properties of chernozem under agrogenic conditions were investigated. It was revealed that the integral value  $Z$  of humus-accumulative horizon of idle land was twice as much as that of tilled land. Therefore, the soils of idle lands deform to a greater extent than arable soils before there comes structural breakdown stage, i.e. they are more stable against external mechanical stress.

**Шейн Евгений Викторович**, д.б.н., проф., зав. каф. физики и мелиорации почв, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 939-36-84. E-mail: evgeny.shein@gmail.com.

**Болотов Андрей Геннадьевич**, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, фак-т природообустройства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

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

**Тюгай Земфира Николаевна**, к.б.н., с.н.с., фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 939-01-64. E-mail: zemfira53@yandex.ru.

**Початкова Татьяна Николаевна**, к.б.н., н.с., каф. физики и мелиорации почв, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 939-25-42. E-mail: pochatkovatn@mail.ru.

**Shein Yevgeniy Viktorovich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Soil Physics and Reclamation Dept., Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 939-36-84. E-mail: evgeny.shein@gmail.com.

**Bolotov Andrey Gennadyevich**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Physics Dept., Faculty of Natural Resources Mgmt., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

**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., Leading Staff Scientist, Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 939-01-64. E-mail: milanovskiy@gmail.com.

**Tyugay Zemfira Nikolayevna**, Cand. Bio. Sci., Senior Staff Scientist, Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 939-01-64. E-mail: zemfira53@yandex.ru.

**Pochatkova Tatyana Nikolayevna**, Cand. Bio. Sci., Staff Scientist, Soil Physics and Reclamation Dept., Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 939-25-42. E-mail: pochatkovatn@mail.ru.

### Введение

Современная реометрия, как метод изучения свойств различных веществ и материалов, широко используется в различных областях науки и техники, в том числе и в АПК [1, 2]. Одним из направлений применения данного метода является почвенная реометрия, т.к. повсеместная деградация почвенного покрова заставляет искать новые возможности количественной оценки почв и характеристик их устойчивости к внешним воздействиям. Зачастую в черноземных почвах структурное изменение и направление его развития невозможно диагностировать традиционными методами физики почв. Необходимы более чувствительные методы исследования деформаций почвы – функции межчастичных взаимодействий и микромеханического поведения, а также изменений её структурного состояния.

При изучении реологических свойств почв в отечественном почвоведении используются ротационные вискозиметры и реометры с цилиндрическими измерительными устройствами [3-6]. Однако при исследовании средне- и тяжелосуглинистых почв на данных устройствах возникают ограничения на их применение. Также отсутствует возможность использования ненарушенных почвенных образцов естественного сложения. В связи с этим для исследования энергетического состояния структурных связей среднесуглинистых черноземов нами был использован метод амплитудной развертки (AST) с измерительной системой параллельных плато у которого отсутствуют вышеуказанные ограничения.

**Целью работы** было изучение реологических свойств черноземов обыкновенных и выщелоченных среднесуглинистых умеренно засушливой и колючей степи Алтайского края.

В ходе исследований решались следующие **задачи**:

- 1) провести поисково-методическую работу по освоению нового динамического метода амплитудной развертки для исследования энергетики структурных связей в почве;
- 2) установить взаимосвязь реологических свойств с некоторыми физико-химическими почвенными свойствами;
- 3) экспериментально определить профильное распределение предела текучести и интегральной величины  $Z$  черноземов обыкновенных и выщелоченных среднесуглинистых в условиях агрогенеза.

### Объекты и методы

Объектами исследования являлись черноземы обыкновенные и выщелоченные среднесуглинистого гранулометрического состава.

Изучение гранулометрического состава почв проводилось методом лазерной дифракции на дифрактометре «Анализетте 22» фирмы FRITSCHE с предварительной ультразвуковой пробоподготовкой в воде на сонофикаторе Branson Digital Sonifer без применения химических диспергаторов. Содержание общего углерода и углерода карбонатов определено экспресс-анализатором АН-7529М, сжиганием в токе кислорода при 900°C, а образцы для определения углерода карбонатов обрабатывались 5%-ной серной кислотой.

Содержание органического углерода получено как разность между содержанием общего углерода и содержанием углерода карбонатов. Капиллярно-сорбционный потенциал в зависимости от влажности определен по данным о кинетике дренирования методом центрифугирования на центрифуге Eppendorf 5804с [7].

Исследования реологических свойств почв были проведены на модульном реометре MCR-302 (Anton-Paar, Австрия) методом амплитудной развертки, с использованием программного обеспечения RHEOPLUS/32 V3.60. При этом использовалась измерительная система «пластина-пластина» PP25 с расстоянием между пластинами 2 мм. Для поддержания постоянной температуры ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ ) почвенного образца во время опыта применялась система термостабилизации на элементах Пельтье Р-PTD200. Метод амплитудной развертки относится к группе методов динамических испытаний, заключающихся в том, что вместо приложения к образцу постоянного напряжения и измерения реологических характеристик в режиме установившегося течения образец подвергают осциллирующим напряжениям или деформациям, например синусоидальной функцией времени. Динамические испытания, при которых реометр измеряет зависимость деформации от времени, представляют собой иной подход к измерению вязкоупругости, чем метод ползучести-восстановления. Оба вида испытаний дополняют друг друга, так как одни аспекты вязкоупругости хорошо описываются динамическими испытаниями, а другие – ползучестью и восстановлением. В процессе динамических испытаний вязкоупругих тел не только не происходит механического разрушения образцов, но и сохраняется их внутренняя структура. С реологической точки зрения структура испытуемых образцов находится как бы в состоянии покоя.

### Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Данные по гранулометрическому составу, для различных горизонтов, представлены в виде интегральных и дифференциальных кривых содержания частиц по фракциям (рис. 1). Гумусированные полидисперсные горизонты имеют несколько максимумов размеров частиц на дифференциальной кривой, значения которых соответствуют фракции мелкой пыли 5 мкм (Ап и АВ), крупной пыли 29 мкм (Ап и АВ). В гор. АВ максимум, соответствующий фракции мелкого песка 140 мкм, несколько смещен вправо относительно максимума гор. Ап (123 мкм). Монодисперсный гор. В, для которого распределение частиц по фракциям имеет вид левосторонней асимметрии, представлен одним

максимумом на 141 мкм. Также более неоднородное содержание различных фракций в горизонтах Ап и АВ, чем в В, видно из кумулятивной кривой, которая в гор. В менее пологая, чем в вышележащих горизонтах.

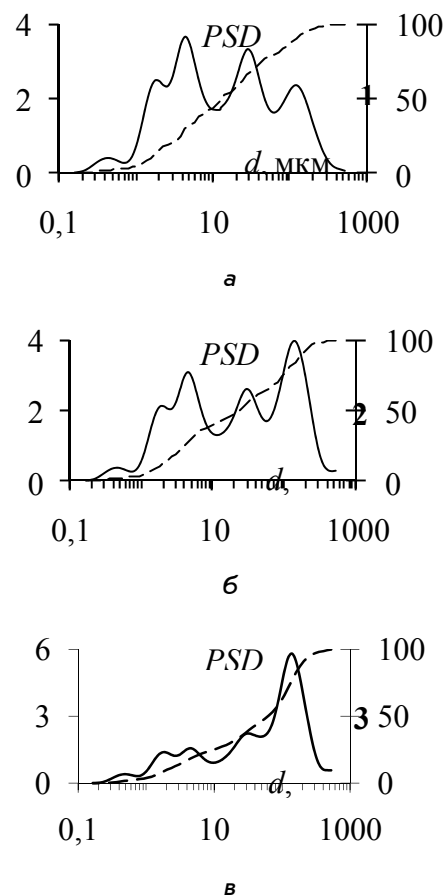


Рис. 1. Распределение гранулометрических фракций по размерам: а – гор. Ап; б – гор. АВ; в – гор. В

На начальном этапе эксперимента значения напряжения сдвига, задаваемые реометром, имеют значительные колебания. Поэтому экспериментальные данные, полученные в начальный момент времени, при незавершившемся переходном процессе учитывать нельзя. Для выявления критерия окончания переходного процесса было проанализировано 14 образцов чернозема выщелоченного с заданием 30 получаемых экспериментальных точек. Максимальная относительная погрешность напряжения сдвига составила 23% для первой экспериментальной точки, для которой характерна наибольшая нестабильность. Далее величина погрешности уменьшается и начиная с шестой точки, что соответствует величине напряжения сдвига 0,001% на относительной логарифмической шкале Strain, не превышает 0,2% в течение всего эксперимента (рис. 2). Исходя из этого рекомендуется анализировать полученные данные Strain начиная с величины 0,001% в логарифмическом масштабе.

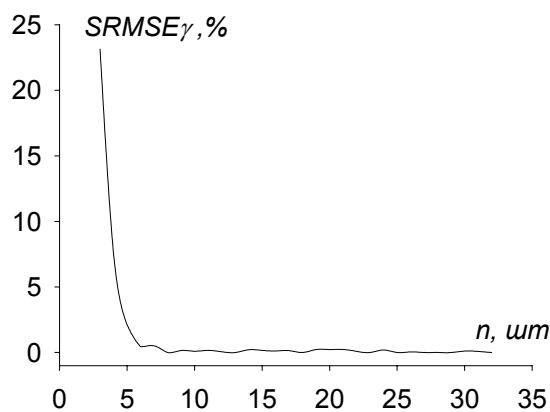


Рис. 2. Зависимость относительной среднеквадратичной ошибки SRMSE напряжения сдвига  $\gamma$  от числа измерений

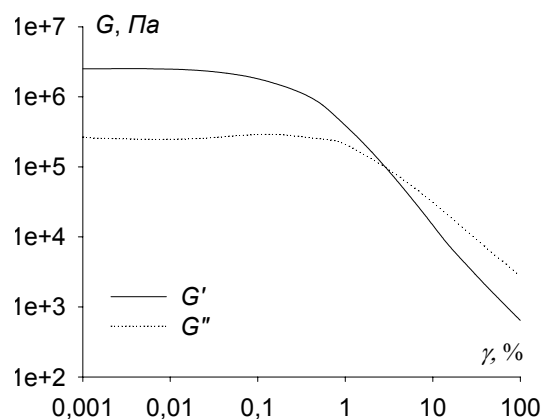


Рис. 3. Зависимость модулей  $G''$  и  $G'$  от напряжения сдвига  $\gamma$

Вязкоупругие вещества, к которым относится влажная почва, вступают в реакцию с временной задержкой, которая выражается углом сдвига фаз  $\delta$ . Исходя из этого коэффициент затухания  $\tan \delta$  описывает отношение модуля вязкости (динамический модуль вязкости)  $G''$ (Па) к модулю упругости (динамический модуль упругости)  $G'$ (Па) [8, 9]:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

Этот параметр имеет преимущество перед параметрами  $G'$  и  $G''$  или пределом деформации  $\gamma_L$ , поскольку он представляет более подробные и четкие количественные изменения жесткости. Если  $\tan \delta = 1$ ,  $G' > G''$ , то почва имеет «упругое состояние». Вязкое состояние наступает, когда  $\tan \delta = 1$   $G'' > G'$  (рис. 3).

При достижении равенства модулей  $G''$  и  $G'$  упругие и вязкие части эквивалентны, и точка пересечения кривых  $G''$  и  $G'$  является пределом текучести  $\gamma_p$ . Если  $\tan \delta > 1$ , то преобладают вязкий характер и структурное разрушение, при этом деформация почвы на данном этапе является необратимой. Для дальнейшего сравнения рассчитывается интеграл  $Z$  из  $\tan \delta(\gamma)$ , равный площади фигуры, ограниченной линией  $\tan \delta = 1$  и функцией  $\tan \delta(\gamma)$  (рис. 4).

На рисунке 5 приведена зависимость коэффициента затухания от напряжения сдвига,  $\tan \delta(\gamma)$ , где видно, что гумусоаккумулятивный горизонт имеет наибольшее значение предела текучести и интеграла  $Z$  (точка пересечения функции напряжения сдвига с линией  $\tan \delta$  и площадь фигуры, ограниченной этими линиями).

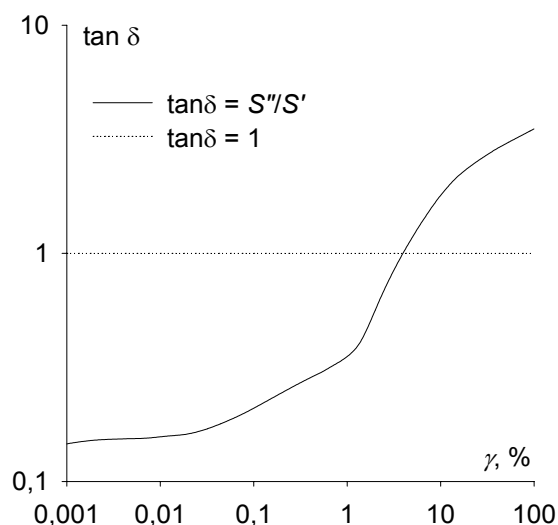


Рис. 4. Зависимость коэффициента затухания  $\tan \delta$  от напряжения сдвига  $\gamma$

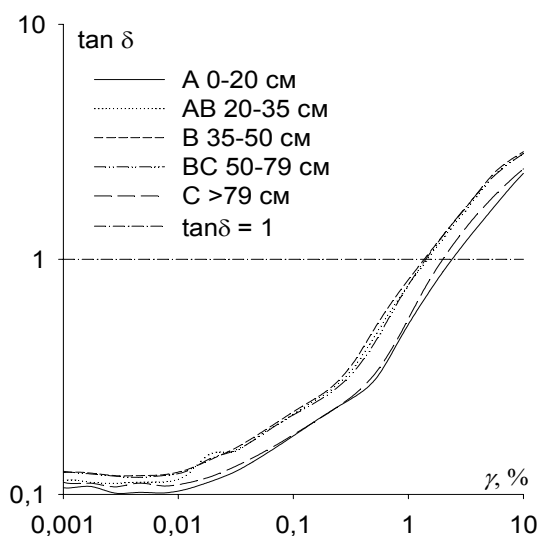


Рис. 5. Зависимость коэффициента затухания  $\tan \delta$  от напряжения сдвига  $\gamma$  чернозема выщелоченного

Далее рассмотрим диаграмму распределения предела текучести по глубине (рис. 6). Из диаграммы следует, что на глубине 0-20 см (гор. А) значения предела текучести выше, чем в подстилающих горизонтах, что, вероятно, обусловлено большим содержанием органического углерода. На глубине 20-30 см значения предела текучести возрастают из-за наличия уплотненного слоя – плужной подошвы. На глубине 90-100 см увеличение предела текучести можно объяснить наличием карбонатов.

Рассмотрим зависимость предела текучести  $Y_p$  и интеграла  $Z$  от содержания органического углерода  $C_{орг}$  (рис. 7-10).

Из графиков следует, что предел текучести и интегральная величина  $Z$  линейно увеличиваются с ростом содержания органического вещества, т.е. почвы с более высоким содержанием органического углерода деформируются в большей степени, прежде чем наступает этап структурного разрушения, в сравнении с почвами с низким содержанием углерода. Данные зависимости отражают высокий уровень чувствительности метода амплитудной развертки к содержанию органического вещества.

Учитывая, что зависимость  $Z(Y_p)$  линейная, то для характеристики энергетики структурных связей в почве имеет смысл анализировать только интегральную величину  $Z$  (рис. 9).

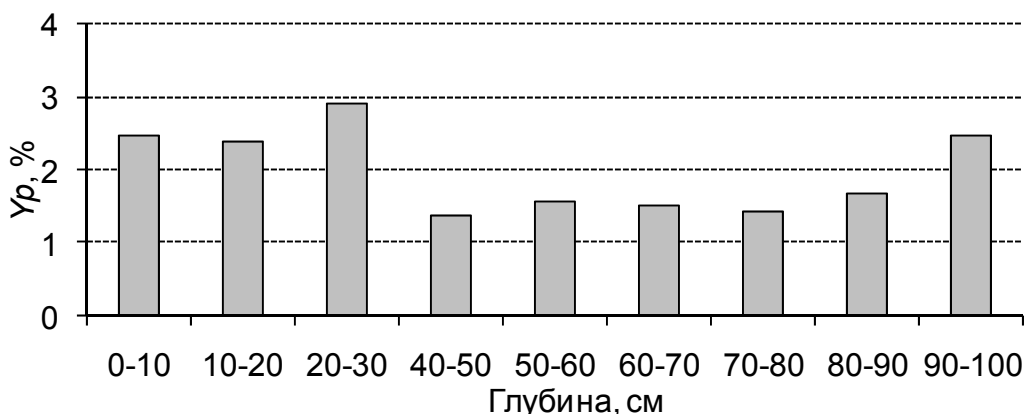


Рис. 6. Профильное распределение предела текучести в черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом

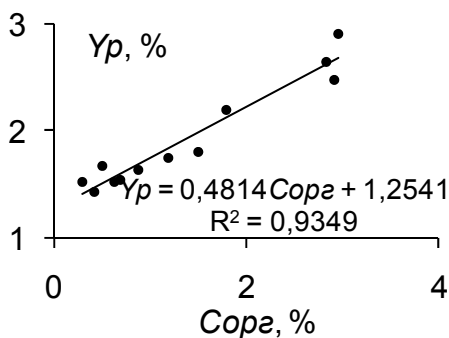


Рис. 7. Зависимость предела текучести  $Y_p$  от содержания органического углерода  $C_{орг}$

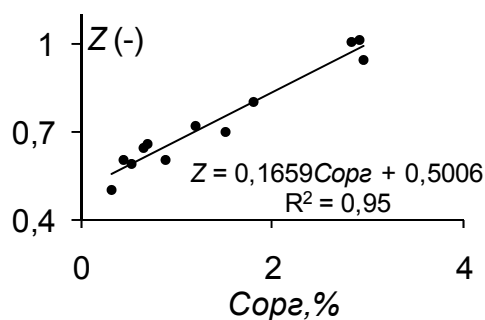


Рис. 8. Зависимость интегральной величины  $Z$  от содержания органического углерода  $C_{орг}$

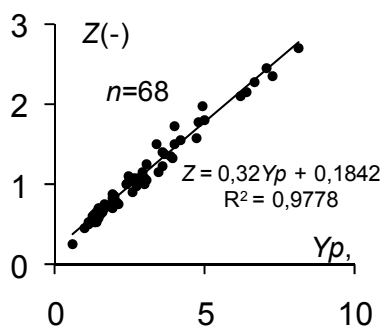


Рис. 9. Зависимость величины  $Z$  от предела текучести  $Y_p$  черноземов

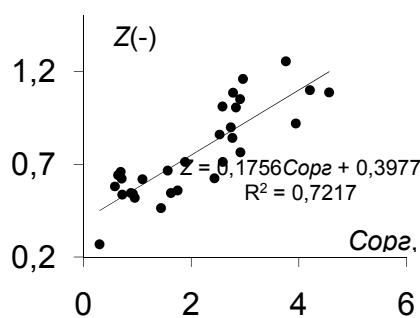


Рис. 10. Зависимость интеграла  $Z$  от содержания органического углерода  $C_{орг}$  черноземов



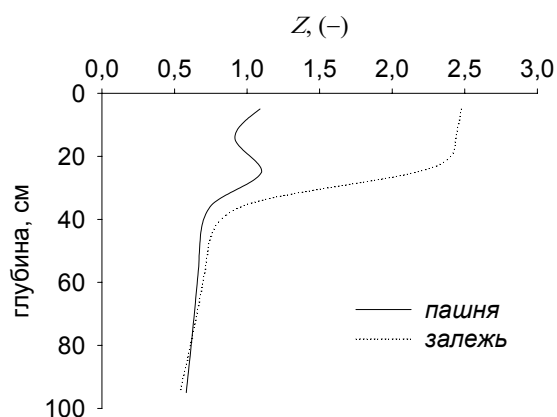


Рис. 11. Профильное распределение интеграла  $Z$  в черноземе выщелоченном среднесуглинистом

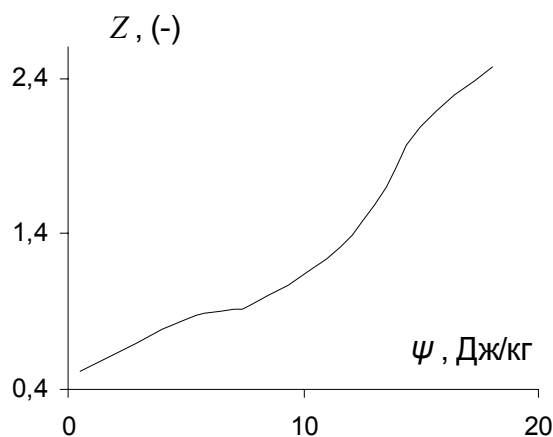


Рис. 12. Зависимость интеграла  $Z$  от матричного потенциала влаги чернозема выщелоченного среднесуглинистого

Интегральная величина  $Z$  гумусово-аккумулятивного горизонта залежи больше в два раза, чем на пашне (рис. 11). Из этого можно сделать вывод, что залежные почвы деформируются в большей степени, чем пахотные, прежде чем наступает этап структурного разрушения. Выявлено, что зависимость интегральной величины  $Z$  от капиллярно-сорбционного потенциала линейная с отклонением экспериментальных точек от прямой в характерных точках перегиба (рис. 12). Точки перегиба расположены в области перехода из вязкопластичного тела Бингама – Шведова, находящегося в текучей консистенции в упруговязкое пластичное тело Бард-жерса.

#### Выводы

1. Динамический метод амплитудной развертки является перспективным для исследования реологических свойств почв любой разновидности нарушенного и ненарушенного сложения, и его можно рекомендовать для исследования устойчивости структурного состояния почв механическим воздействиям.

2. Установлена тесная взаимосвязь предела текучести и интегральной величины  $Z$  с содержанием органического вещества и капиллярно-сорбционного потенциала влаги.

3. Интегральная величина  $Z$  гумусово-аккумулятивного горизонта залежи больше в два раза, чем на пашне. Поэтому залежные почвы деформируются в большей степени, чем пахотные, прежде чем наступает этап структурного разрушения.

#### Библиографический список

1. Шариков А.Ю., Степанов В.И., Иванов В.В., Римарева Л.В., Игнатова Н.И., Скворцова Л.И. Перспективы использования экструдата ржи в биотехнологии этанола // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 5. – С. 66-68.

2. Паскару К.Г., Литвяк В.В., Москва В.В., Андреев Н.Р., Костенко В.Г., Оспанкулова Г.Х. Модифицированные крахмалосодержащие продукты для бурения // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 12. – С. 82-84.

3. Хайдапова Д.Д., Милановский Е.Ю., Шейн Е.В., Початкова Т.Н. Реологические подходы к изучению почвенной структуры // Матер. докл. VI Съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева / Карельский научный центр РАН. – Петрозаводск, 2012. – Т. 2. – С. 76-77.

4. Дымов А., Милановский Е., Хайдапова Д., Жангуров Е. Реологические свойства почв горно-тундрового приполярного Урала // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: матер. Всерос. конф. (Сыктывкар, 3-7 июня 2013 г.) / Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2013. – С. 303-307.

5. Хайдапова Д., Милановский Е., Честова В. Реологические свойства черноземов пахотного поля и под лесополосой // Разнообразие лесных почв и Биоразнообразие лесов Пущино (Московская обл.): V Всерос. науч. конф. по лесному почвоведению с международным участием. – 2013. – С. 56-58.

6. Початкова Т.Н., Николаева И.В. Реологические свойства дерново-подзолистой почвы // Матер. докл. VI Съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. – Карельский научный центр РАН. – Петрозаводск, 2012. – Т. 2. – С. 55-57.

7. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Мизури Маауиа Бен-Али. Определение основной гидродиффузионной характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. – 1998. – № 11. – С. 1362-1370.

8. Mezger T. The Rheology-Handbook – For Users of Rotational and Oscillatory Rheometers. Vincentz Verlag. – Hannover, 2002, – 252 p.

9. Markgraf W., Horn R., Peth S. An Approach to Rheometry in Soil Mechanics: Structural Changes in Bentonite, Clayey and Silty Soils. *Soil and Tillage Research* 91. – 2006. – P. 1-14.

**References**

1. Sharikov A.Yu., Stepanov V.I., Ivanov V.V., Rimareva L.V., Ignatova N.I., Skvortsova L.I. *Perspektivy ispol'zovaniya ekstrudata rzhi v biotekhnologii etanola // Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2014. – № 5. – S. 66-68.

2. Paskaru K.G., Litvyak V.V., Moskva V.V., Andreev N.R., Kostenko V.G., Ospankulova G.Kh. *Modifitsirovannye krakmalosoderzhashchie produkty dlya bureniya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2013. – № 12. – S. 82-84.

3. Khaidapova D.D., Milanovskii E.Yu., Shein E.V., Pochatkova T.N. *Reologicheskie podkhody k izucheniyu pochvennoi struktury // Materialy dokladov VI S"ezda Obshchestva pochvedov imeni V.V. Dokuchaeva.* – T. 2. – Karel'skii nauchnyi tsentr RAN. – Petrozavodsk, 2012. – S. 76-77.

4. Dymov A., Milanovskii E., Khaidapova D., Zhangurov E. *Reologicheskie svoystva pochv gorno-tundrovogo pripolyarnogo Urala // Bioraznoobrazie ekosistem Krainego Severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana. Materialy vserossiiskoi konferentsii (Syktyvkar, 3-7 iyunya*

2013 g.). – Institut biologii Komi NTs UrO RAN. – Syktyvkar, 2013. – S. 303-307.

5. Khaidapova D., Milanovskii E., Chestnova V. *Reologicheskie svoystva chernozemov pakhotnogo polya i pod lesopolosoi // V Vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya po lesnomu pochvovedeniyu s mezhdunarodnym uchastiem.* – Raznoobrazie lesnykh pochv i bioraznoobrazie lesov. – Pushchino, 2013. – S. 56-58.

6. Pochatkova T.N., Nikolaeva I.V. *Reologicheskie svoystva dernovo-podzolistoi pochvy // Materialy dokladov VI S"ezda Obshchestva pochvedov imeni V.V. Dokuchaeva.* – T. 2. – Karel'skii nauchnyi tsentr RAN. – Petrozavodsk, 2012. – S. 55-57.

7. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Mizuri Maauia Ben-Ali. *Opreделение osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki pochv metodom tsentrifugirovaniya // Pochvovedenie.* – 1998. – № 11. – S. 1362-1370.

8. Mezger T. *The Rheology-Handbook – For Users of Rotational and Oscillatory Rheometers.* Vincentz Verlag, Hannover, 2002, 252 pp.

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

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, № 12-04-90862.*



УДК 631.6:631.445.53



**И.А. Троценко, М.В. Тарасова**  
I.A. Trotsenko, M.V. Tarasova

**ВЛИЯНИЕ ОДНОКРАТНОЙ И ПОВТОРНОЙ МЕЛИОРАЦИИ  
НА МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ МНОГОНАТРИЕВОГО КОРКОВОГО СОЛОНЦА**

**EFFECT OF SINGLE AND REPEATED RECLAMATION ON RECLAMATIVE STATE  
OF HIGH-SODIUM CRUSTED SOLONETZ**

**Ключевые слова:** многонатриевый солонец, мелиорация, гипсование, почвенно-поглощающий комплекс, однократное и повторное гипсование.

В зоне недостаточного увлажнения лесостепной зоны Западной Сибири (Ишим-Иртышское

междуречье) при среднегодовом количестве осадков 325 мм установлены отличительные особенности действия разных доз при однократном и повторном фосфогипсовании солонца лугово-черноземного коркового многонатриевого содового засоления. В отличие от однократного повторное гипсование обеспечило более высокую