

# Сельскохозяйственные науки

УДК 631.81

DOI 10.24411/2409-3203-2019-1924

## О ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОД ЗЕРНОПАРОВЫМ СЕВООБОРОТОМ

**Сибирина Татьяна Фёдоровна**

к.б.н., доцент кафедры агроинженерии,  
директор Ачинского филиала Красноярского ГАУ  
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Ачинский филиал  
Россия, г. Ачинск

**Романов Василий Николаевич**

д.с.-х. н., вед. науч. сотр. отдела  
агротехнологий Красноярского НИИСХ  
ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН  
Россия, г. Красноярск

**Ивченко Владимир Кузьмич**

д.с.-х. н., профессор кафедры общего земледелия  
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ  
Россия, г. Красноярск

**Мельникова Екатерина Валерьевна**

к.т.н., доцент кафедры технологии хлебопекарного,  
кондитерского и макаронного производств  
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ  
Россия, г. Красноярск

**Беляков Алексей Андреевич**

к.т.н., доцент кафедры экономики и управления АПК  
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Ачинский филиал  
Россия, г. Ачинск

**Аннотация.** Эффективным критерием физико-механического состояния земельного массива служит твёрдость грунта и плотность сложения его пахотного слоя. При его изменении меняется и ряд других свойств: воздушный, тепловой и водный режимы, скорость протекания химических и биологических процессов. Ограничение уровня энерго-машинных воздействий в технологическом комплексе зерновых культур обусловлено повышением их урожайности. Поэтому с плотностью сложения непосредственно связаны организационные решения о механической обработке пахотного слоя и последующих материальных затратах на создание и поддержание благоприятного строения пашни под севооборотами.

В зернопаровом севообороте «пар – пшеница – ячмень – овёс» на полевом стационаре Красноярского НИИСХ, п. «Минино», установлено, что снижение механической нагрузки способствует повышению влажности пахотного слоя. Так на

глубине до 50 см влажность к посеву культур по вспашке составляла 23%, а при обработке дискатором 26%, на участках прямого посева (без обработки) 28%. В течение всего вегетационного периода отмечается низкий уровень обеспеченности нитратным азотом, подвижным фосфором и обменным калием на высоком и среднем уровне.

Величина плотности в горизонте 0-40 см после уборки культур и весной перед посевом, не превышает допустимое для зерновых значение 21 кг/см<sup>2</sup>. В замыкающем поле севооборота оценка твёрдости горизонта 0-50 см с шагом 5 см показала наличие аномального уплотнения («плужной подошвы») в слое 10-20 см на варианте вспашки.

Яровая пшеница по пару формирует до 27,3 ц/га, не зависимо от способа подготовки парового поля. Урожайность ячменя по вспашке и минимальной обработке составила 21,7 ц/га, при прямом посеве выше на 1,7 ц/га. Овёс по вспашке формировал 34,4 ц/га зерна, на варианте минимальной обработки урожайность ниже на 2 ц/га, а при посеве без обработки — ниже на 5,4 ц/га.

Использование физико-механических характеристик земельного массива и его пахотного слоя позволяет уточнить агрономические требования к программированию урожая зерновых культур на опытном поле. В частности, по данным многолетнего опыта это позволило установить связь урожайности зерновых культур с вариантами обработки пахотного слоя.

**Ключевые слова.** Физико-механические показатели грунта; температура, влажность, плотность, твёрдость грунта; земельный массив, пахотный слой; зернопаровой севооборот

## **ABOUT THE THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF AGRICULTURE LAYER UNDER GRAIN CIRCULAR CIRCULATION**

### **Sibirina Tatiana Fyodorovna**

Ph.D, associate Professor, Chair of Agroengineering  
Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University  
Director of the Achinsk branch of the Krasnoyarsk SAU  
Russia, the city of Achinsk

### **Romanov Vasily Nikolaevich**

Ph.D, Leading Staff Scientist, Department of Agrotechnologies of  
Krasnoyarsk Research and Development Institute of Agriculture  
FRC KRC SB RAS,  
Russia, Krasnoyarsk

### **Ivchenko Vladimir Kuzmich**

Ph.D., sciences, professor, Chair of General Agriculture  
Krasnoyarsk State Agrarian University  
Russia, Krasnoyarsk

### **Melnikova Ekaterina Valerievna**

Ph.D., associate professor, Chair of baking  
confectionery and pasta technology productions  
Krasnoyarsk State Agrarian University  
Russia, Krasnoyarsk

### **Belyakov Alexey Andreevich**

Ph.D., associate professor, Department of Economics and Management, AIC  
Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University  
Russia, the city of Achinsk

**Annotation.** An effective criterion for the physical and mechanical state of the land mass is the hardness of the soil and the density of the addition of its arable layer. When it changes, a number of other properties also change: air, thermal and water regimes, the rate of chemical and biological processes. The limitation of the level of energy-machine impacts in the technological complex of grain crops is due to an increase in their productivity. Therefore, organizational decisions on the mechanical processing of the arable layer and subsequent material costs for creating and maintaining a favorable structure of arable land under crop rotation are directly related to the density of addition.

In the grain-steam rotation rotation "steam - wheat - barley - oats" at the field hospital of the Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, p. "Minino", it was found that reducing the mechanical load contributes to an increase in the moisture content of the arable layer. So, at a depth of up to 50 cm, the humidity for sowing crops by plowing was 23%, and when processing with a disc cultivator, 26%, in the areas of direct sowing (without treatment) 28%. Throughout the growing season, there is a low level of provision with nitrate nitrogen, mobile phosphorus and exchange potassium at a high and medium level.

The density in the horizon of 0-40 cm after harvesting and in the spring before sowing does not exceed the allowable value for grain of 21 kg / cm<sup>2</sup>. In the closing field of the crop rotation, an assessment of horizon hardness of 0-50 cm in increments of 5 cm showed the presence of anomalous compaction ("plow sole") in the 10-20 cm layer in the plowing variant.

Spring wheat in pairs forms up to 27.3 c / ha, regardless of the method of preparation of the steam field. Barley yields for plowing and minimum cultivation amounted to 21.7 kg / ha, with direct sowing higher by 1.7 kg / ha. Oats for plowing formed 34.4 c / ha of grain, with the minimum cultivation variant the yield is lower by 2 c / ha, and when sown without cultivation, it is lower by 5.4 c / ha.

Using the physical and mechanical characteristics of the land mass and its arable layer allows us to clarify the agronomic requirements for programming the yield of grain crops on the experimental field. In particular, according to many years of experience, this made it possible to establish a relationship between the productivity of grain crops and the options for processing the arable layer.

**Key words:** physical and mechanical indicators of soil; temperature, humidity, density, soil hardness; land mass, arable layer; crop rotation

**Введение.** В экологической и хозяйственной оценке эффективности энерго-машинных технологий возделывания зерновых культур важным фактором является плотность пахотного слоя под севооборотом [4], влияющая на горизонт распространения корней растений [7].

Поэтому поиск резервов по созданию и поддержанию благоприятного строения пахотного слоя непосредственно связан с физико-механической характеристикой его горизонтов по глубине расположения корней растений и, как следствие, способствует более точному прогнозу уровня тепло- и влагообеспечения при прогнозировании уровня урожайности. При этом выполненная в 2015–2018 гг. физико-механическая характеристика пахотного слоя является необходимой составной частью автоматизации технологических процессов [9].

**Цель исследования.** Физико-механическая характеристика пахотного слоя под зернопаровым севооборотом «пар – пшеница – ячмень – овёс» на полево-м стационаре Красноярского НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН для уточнения агрономических требований к возделыванию зерновых культур в условиях лесостепной зоны Красноярского края.

**Задачи исследования:** Проанализировать данные по физико-механическим показателям пахотного слоя опытного поля за 2015–2018 гг.; выявить среднегодовые закономерности распределения температуры, влажности и твёрдости грунта в пахотном

слое в зависимости от глубины; установить связь урожайности яровой пшеницы, ячменя и овса с вариантами обработки пахотного слоя.

**Объект исследования:** пахотный слой земельного массива на различных глубинах, подверженный воздействию технических средств при вспашке (контроль), минимальной обработке дисковым орудием (дискование) и прямым посевом сеялкой СЗС – 2,1(No-till) под зернопаровым севооборотом «пар – пшеница – ячмень – овёс».

**Предмет исследования:** Физико-механические показатели пахотного слоя земельного массива: изменения температуры, влажности и твёрдости грунта в зависимости от глубины.

**Условия и методы исследований.** Исследования проведены в период 2015–2018 гг. с применением классической методики организации полевых опытов [2]. Стационар расположен на территории опытно-производственного хозяйства «Минино», расположенного в 1 км от г. Красноярск с использованием стандартных методов агрономии. Географические координаты: 56° 06' 44" северной широты, 92° 69' 82" восточной долготы. Почвы стационара представлены среднесуглинистыми обыкновенными чернозёмами. Предельная полевая влагоёмкость метрового слоя находится в пределах 323 мм. Элементы погоды оцениваются методами агрометеорологии по данным метеостанции «Минино» [1, 6]. Годовая температура воздуха: минимальная – 1,1°; средняя +0,5°; максимальная + 1,8°. Сумма температур выше +5°–2215°, выше +10°–1750°. Годовое количество осадков — 340 мм, максимальное – 370 мм, за период май-сентябрь выпадает 230 мм. В работе использованы энергетические и сельскохозяйственные машины (Джон-Дир, МТЗ-82, дискатор «Рубин» фирмы Лемкен, сеялка СЗС–2,1): измерительные приборы (плотномер Willi, пенетромтр ручной Eikelkamp 06.01.SA, влагомер, и др. лабораторное оборудование).

Статистическая обработка полевого эксперимента выполнена в компьютерном пакете DataFit, использованы статистические функции табличного процессора MsExcel [5, 8].

**Результаты исследования и обсуждение.** На первом этапе исследований выполнен *анализ данных* по влагообеспеченности при нулевой минимальной технологиях обработки почвы в условиях опытного поля. Систематизация опытных данных показала, что отсутствие обработки почвы в севообороте создаёт лучшие условия увлажнения. При нулевой и минимальной технологии механическое воздействие на пахотный слой сведено к минимуму и, как следствие, испарение влаги из него значительно снижалось.

Влажность слоя 0-50 см к посеву культур по вспашке составила 23%, при обработке дискатором 26%, на участках прямого посева (без обработки) 28%. При снижении механической нагрузки на слой повышается его влажность. В середине вегетации влажность слоя находилась в диапазоне 21–40%. Минимизация обработки позволили накопить на поверхности почвы мульчирующий слой из растительных остатков и измельчённой соломы: на 1 м<sup>2</sup> поверхности почвы, весной находится 60–95 г растительных остатков, в которых содержание азота составляет 0,67%, фосфора в пределах 0,35–0,33%, калия около 0,31–0,35%, что соотносится с принятой методикой биохимических исследований растений [3].

На втором этапе исследований выполнена *характеризация слоёв земельного массива* по температуре, влажности и твёрдости грунта в зависимости от глубины их расположения. В наших исследованиях структура пахотного слоя, после нескольких лет воздействия различными орудиями, имеет отличное и хорошее состояние. На варианте с прямым посевом отмечено уплотнение пахотного слоя на 0,28 г/см<sup>3</sup> по сравнению с отвальной вспашкой и на 0,16 г/см<sup>3</sup> по сравнению с дискованием. При этом возделываемая культура не оказала влияние на изучаемый показатель.

Тенденция постепенного снижения температуры ( $T, ^\circ C$ ) пахотного слоя при увеличении глубины ( $x, см$ ) его расположения отражена зависимостью (рис. 1)

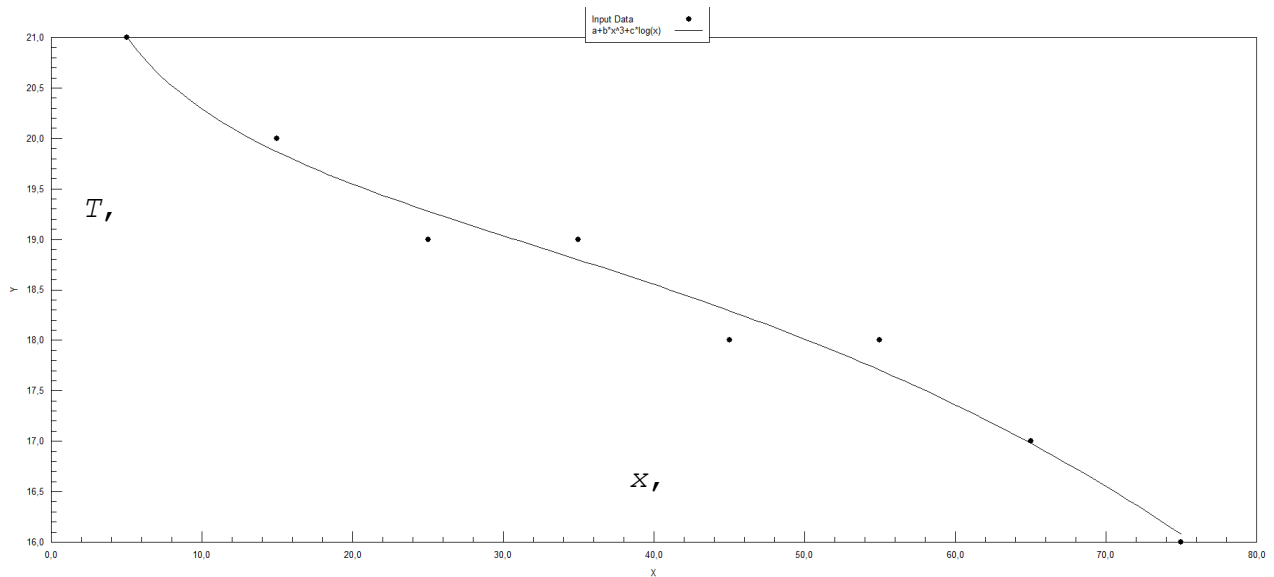


Рисунок 1 – Температура слоя в зависимости от глубины

Изменения влажности пахотного слоя ( $R, мм$ ) в зависимости от глубины ( $x, см$ ) отражены зависимостью (рис. 2)

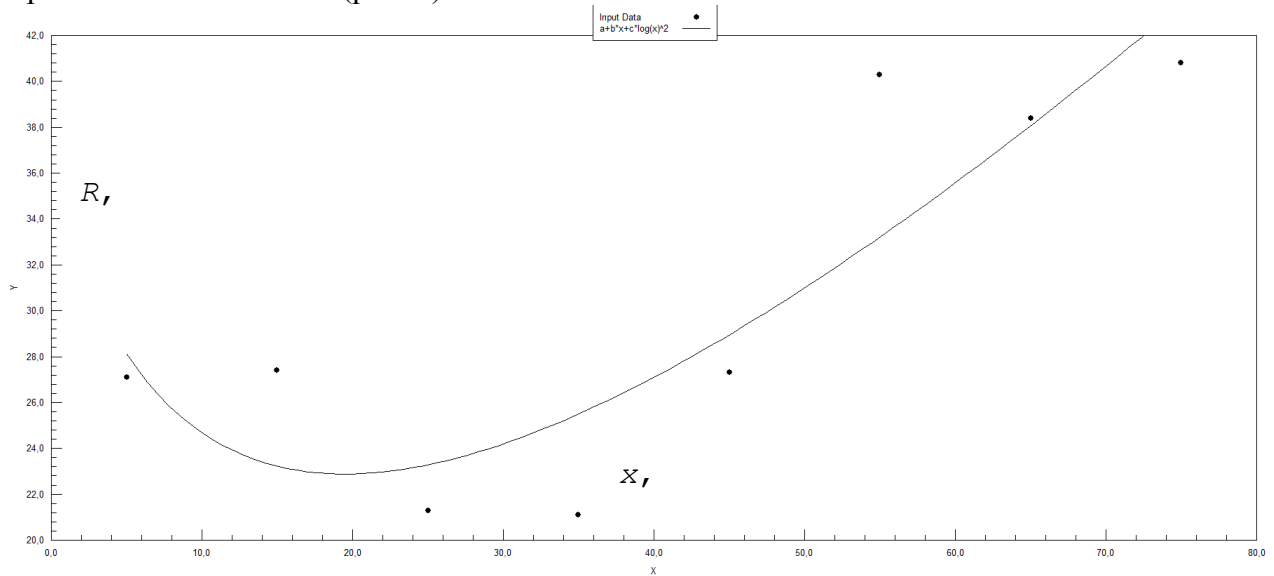


Рисунок 2 – Влажность пахотного слоя в зависимости от глубины

**Пар-вспашка.** Тенденция неравномерного повышения твёрдости ( $Q, г/см^3$ ) грунта в зависимости от глубины ( $x, см$ ) отражена зависимостью (рис. 3)

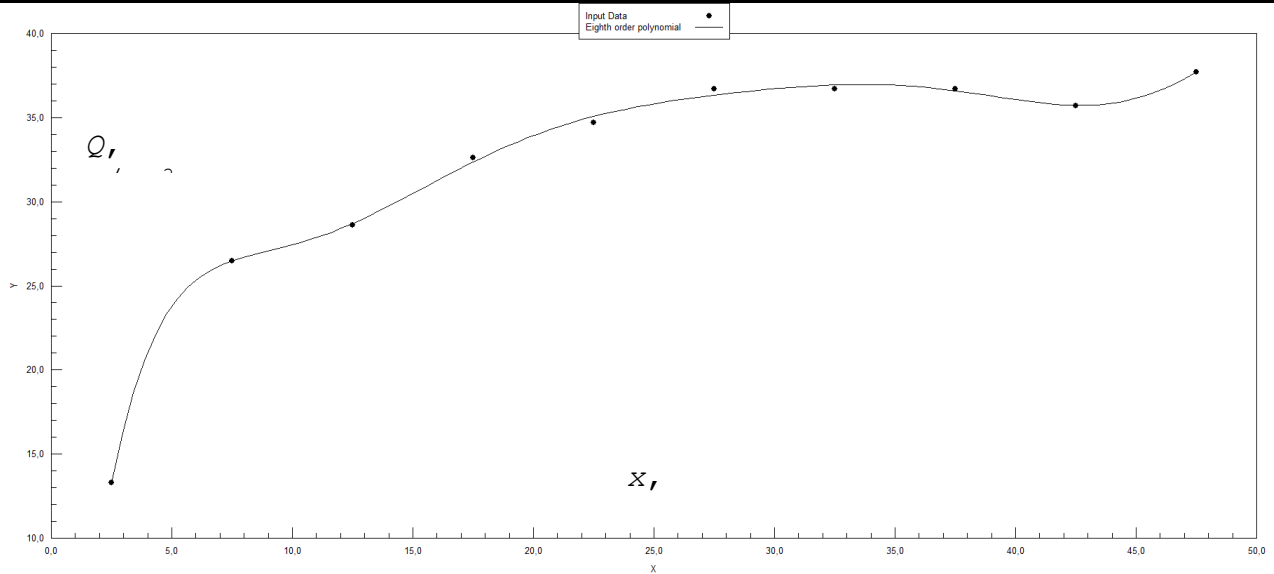


Рисунок 3 – Твёрдость грунта в зависимости от глубины

Несмотря на проявление тенденции увеличения плотности грунта с уменьшением глубины обработки, величина параметра не выходит за пределы оптимального значения: на вспашке она составляет 0,83 г/см<sup>3</sup>; на варианте с дискованием 0,99 г/см<sup>3</sup>, а без обработки — 1,11 г/см<sup>3</sup>.

**Пар (No-till).** Тенденция к стабилизации твёрдости ( $Q$ , г/см<sup>3</sup>) грунта в зависимости от глубины ( $x$ , см) отражается полиномиальной зависимостью (рис. 4)

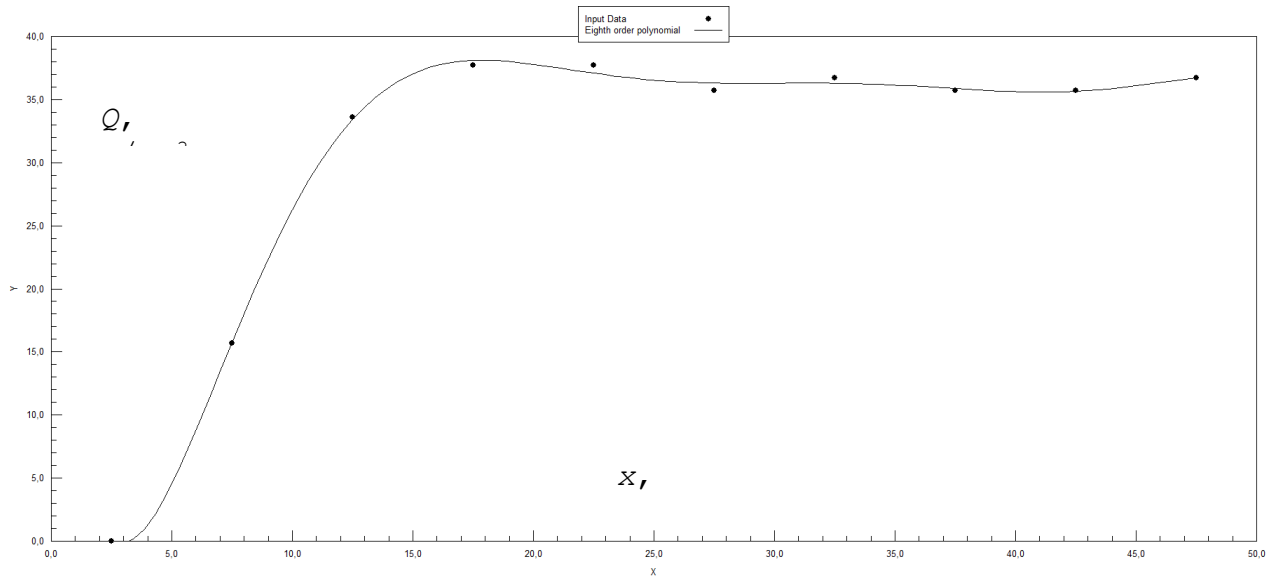


Рисунок 4 – Твёрдость грунта в зависимости от глубины

**Пшеница по вспашке.** Изменение твёрдости ( $Q$ , г/см<sup>3</sup>) грунта в зависимости от глубины ( $x$ , см) отражается полиномиальной зависимостью (рис. 5)

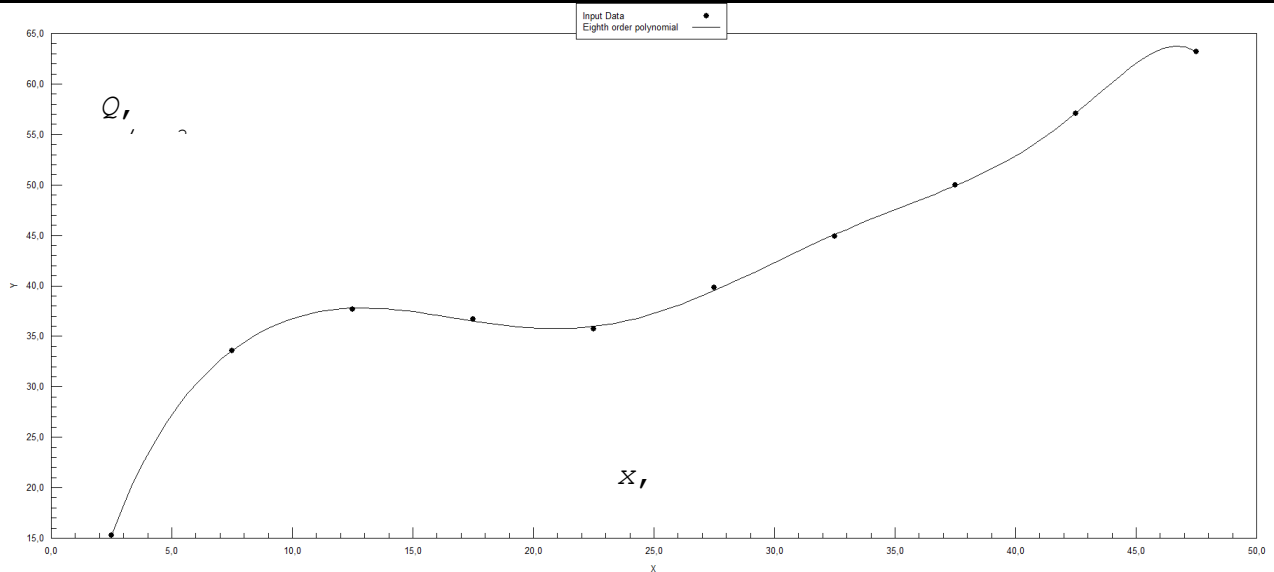


Рисунок 5 – Твёрдость грунта в зависимости от глубины

**Пшеница без обработки (No-till).** Изменение твёрдости ( $Q$ , г/см<sup>3</sup>) грунта в зависимости от глубины ( $x$ , см) отражается полиномиальной зависимостью (рис. 6).

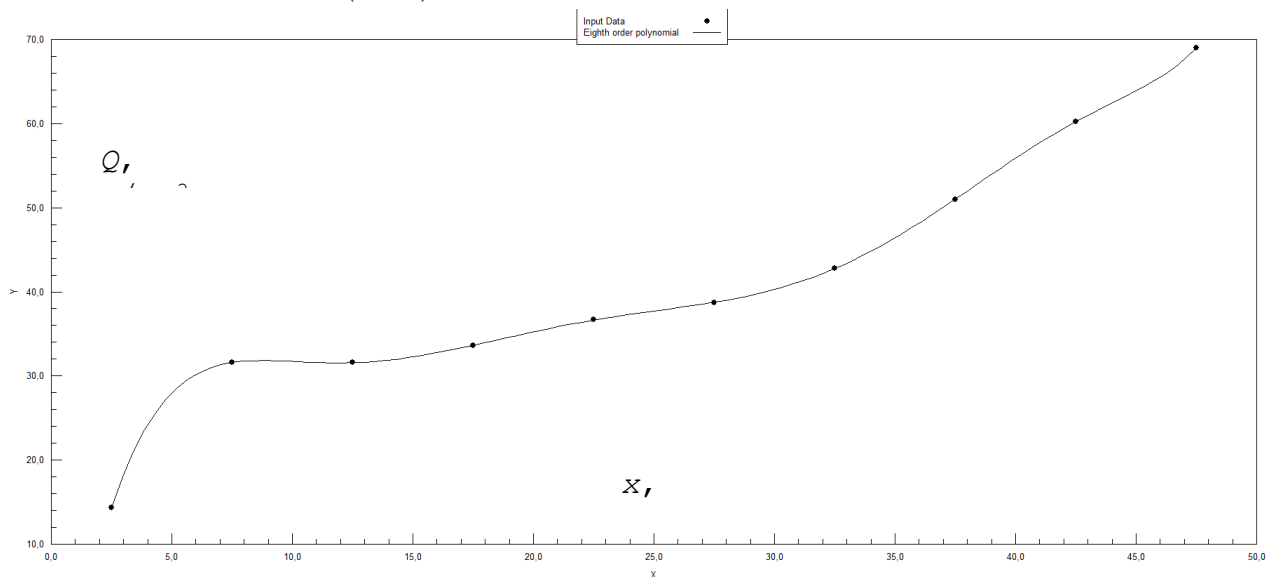


Рисунок 6 – Твёрдость грунта в зависимости от глубины

Выявленные среднегодовые закономерности распределения температуры, влажности и твёрдости грунта в пахотном слое в зависимости от глубины показали, что при снижении механической нагрузки на пахотный слой повышается влажность почвы, а интенсивность дыхания повышается на 17-24% на всех вариантах опытного поля.

На третьем этапе исследований **установлена теснота связи урожайности** зерновых культур с выбором способа основной обработки пахотного слоя без внесения удобрений, уплотняемого под воздействием рабочих органов сельскохозяйственных машин и применяемых технологических приёмов на гектар пашни (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Урожайность зерновых культур в зависимости от способа основной обработки пахотного слоя без внесения удобрений, 2015 – 2018 гг., п. Монино\*

Способ обработки	Пшеница, ц/га	Ячмень, ц/га	Овёс, ц/га	Средняя, ц/га
Вспашка	27,0	21,4	34,4	27,6
Дискование	27,3	21,7	32,5	27,1
Прямой посев (No-Till)	27,3	23,1	29,0	26,4
Среднее	27,2	22,06667	31,96667	27,03333
Стандартное отклонение	0,173205	0,907377	2,739221	0,602771

\*) Романов В.Н., 2018 г.

По вспашке и осеннему дискованию без удобрений средняя урожайность зерна составила 27,1-27,6 ц/га, на варианте No-till – 26,4 ц/га (см. табл. 1). Яровая пшеница по пару формирует по 27,0-27,3 ц/га, не зависимо от способа подготовки парового поля. Ячмень по продуктивности уступает пшенице и овсу, по вспашке и минимальной обработке урожайность ячменя составила 21,4 – 21,7 ц/га, при прямом посеве выше на 1,7-1,4 ц/га. Овёс по вспашке формировал 34,4 ц/га зерна, на варианте минимальной обработки урожайность ниже на 2 ц/га, а при посеве без обработки — на 5,4 ц/га.

Для оценки тесноты связи урожайностей яровой пшеницы, ячменя и овса со средней урожайностью, возделываемых культур в севообороте, а также с выбором способа основной обработки рассчитана корреляционная матрица. Расчёты парных коэффициентов корреляции подтвердили предположение о сильной корреляции средней урожайности зерновых культур с выбором способа основной обработки пахотного слоя. В данном случае корреляция на уровне 99,54% и с точностью меньше 1%. Поэтому коэффициенты парной корреляции урожайностей яровой пшеницы, ячменя, овса с выбором способа основной обработки пахотного слоя, на полученном уровне точности, можно заменить коэффициентами корреляции этих культур со средней урожайностью (см. табл. 2).

Таблица 2 – Корреляция урожайностей зерновых культур с выбором способа основной обработки пахотного слоя без внесения удобрений, 2015 – 2018 гг., п. Минино

Вариант	Пшеница	Ячмень	Овёс	Средняя
Пшеница	1	0,636285	-0,76932	-0,81415
Ячмень	0,636285	1	-0,98236	-0,96598
Овёс	-0,76932	-0,98236	1	0,9973
Среднее	-0,81415	-0,96598	0,9973	1

Следовательно, коэффициенты корреляции урожайностей яровой пшеницы, ячменя, овса с выбором способа основной обработки пахотного слоя на полевом стационаре п. Минино, соответственно, оцениваются величинами: -81,42%, -96,60, 99,73%.

### Выводы

1. На основании выполненного анализа данных по физико-механическим показателям пахотного слоя опытного поля за 2015–2018 гг. установлено изменение влажности на различных глубинах в зависимости от применяемого способа энерго-машинных воздействий: к посеву культур по вспашке влажность на глубине 0-50 см составила 23%; при обработке дискатором — 26%, а без обработки почвы на участках прямого посева составила 28%. Измерения твёрдости горизонта 0-50 см с шагом 5 см на варианте вспашки выявили аномальные уплотнения грунта в слое 10-20 см.

2. На основании среднегодовых закономерностей распределения температуры, влажности и твёрдости грунта в зависимости от глубины установлено, что при снижении механической нагрузки на пахотный слой повышается влажность почвы, а интенсивность дыхания повышается на 17-24% на всех вариантах опытного поля. Опытные исследования подтвердили, что на глубине 0-40 см, весной перед посевом, а также после уборки урожая и плотность не превышает 21 кг/см<sup>2</sup>.

3. На основании выполненных исследований установлено, что урожайности яровой пшеницы, ячменя, овса коррелированы с выбором способа основной обработки пахотного слоя на стационаре п. Монино, соответственно, на уровне: -81,42%, -96,60, 99,73%.

#### **Список литературы:**

1. Агрометеобюллетени АМС «Монино» за 2015–2018 гг.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд, доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
4. Качинский Н.А. Физика почв / Н.А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1970. – 360 с.
5. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2012. – 816 с.
6. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология / А.П. Лосев, Л.Л. Журина. – М.: Колос, 2001. – 297 с.
7. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / А.Н. Полевой. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 208 с.
8. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере / О.Д. Сорокин. – Новосибирск, 2004. – 162 с.
9. Соснин О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб. пособ. / О.М. Соснин. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 240 с.

