

СТАВРОПОЛЬСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ТРУДЫ ИНСТИТУТА

Выпуск XIV

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

РОССЕЛЬХОЗИЗДАТ
МОСКВА — 1971

ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ

П. У. БАХТИН,

доктор сельскохозяйственных наук

Всестороннее знание физико-механических и технологических свойств разнообразных типов почв в различных почвенных зонах и подзонах Советского Союза позволяет создавать почво-обрабатывающие машины разных прочностей в зависимости от физико-механических показателей почв, планировать производство и распределение машин и запасных частей, огромных количеств горючего и смазочных материалов в зависимости от почвенных зон страны; разработать дифференцированные нормы выработки машинно-тракторных агрегатов в зависимости от разных типов и разностей почв; усовершенствовать и разработать более эффективные технологические процессы механической обработки почв, направленные на получение максимальных урожаев при минимальных затратах труда и средств; разработать методы диагностики уплотняющего последствия машин на почвенную толщу, а также изучить абразивное действие почв на рабочие органы и опорные части машин.

Изучению физико-механических и технологических свойств разных типов почв СССР придавали большое значение академики В. П. Горячкин, Л. И. Прасолов, В. А. Желиговский, профессора Н. А. Качинский, М. Х. Нигулевский, П. А. Некрасов, Н. В. Щучкин и др. Им были выдвинуты большие проблемы изучения почв в связи с широкой механизацией сельского хозяйства СССР.

В Почвенном институте в лаборатории физики и технологии почв под руководством профессора Н. А. Качинского (1945—1966 гг.) изучали основные физико-механические и технологические свойства главных типов почв СССР, среди которых было большое число образцов черноземных и каштановых почв — аналогов почв Ставропольского края.

Физико-механические и технологические свойства указанных почв изучали по разработанным нами методикам:

1) пластичность почв и их консистенция, 2) липкость сталь—почва, 3) коэффициент трения скольжения стали по почве, 4) сопротивление почвы сдвигу или срезу, 5) сцепление по-

чвы по прямым определениям и по расчету, 6) коэффициент трения почвы по почве по расчету, 7) твердость почв или их сопротивление расклиниванию, 8) физическая спелость почв или определение оптимальных условий увлажнения почвы для механической ее обработки по характеру крошения почвы, 9) удельное сопротивление почв при пахоте прицепными и навесными плугами со стандартными и скоростными экспериментальными корпусами.

Совместно с ВИСХОМом, СКБ заводов имени Октябрьской революции, Алтайсельмаш и Херсонским СХИ в 1961, 1962 гг. были проведены лабораторно-полевые опыты.

Изучение показало, что почвы в течение годового цикла погоды претерпевают почти все формы консистенции — от жидкотекучей до хрупко-твердой. Все это влияет на устойчивость почв против эрозии и на податливость их различным деформациям при обработке. Поэтому не безразлично, при каком состоянии следует обрабатывать почву. Особенно для этого важен переход из полутвердой консистенции в вязко-пластичную и обратно. Границей перехода между этими консистенциями является нижний предел пластичности (по Аттербергу), с превышением которого почва начинает усиленно деформироваться. Эта граница считается верхним пределом увлажнения почвы для оптимальной механической обработки или верхним порогом физической спелости почвы. При влажности выше этого предела почву не следует обрабатывать, так как при этом сильно разрушается структура.

Исследование пределов пластичности по Аттербергу пахотного слоя и генетических горизонтов почв показало, что черноземы из-за насыщенности гумусом и хорошей микроструктуры имеют высокую влажность нижней границы пластичности, что позволяет обрабатывать почву также при более высокой влажности. Интенсивность почвообразовательного процесса и различное распределение ила по генетическим горизонтам способствует увеличению разделения почвенных профилей на генетические горизонты. А это резко сказывается на нижней границе текучести и нижней границе пластичности почв.

При определении влажности нижней границы пластичности почвы для расчета оптимальной влажности почвы при ее обработке, могут быть использованы наиболее простые и прямые методы академика Ребиндера, Васильева и автоматизированный метод Савченко.

Липкость почвы (по Н. А. Качинскому) — способность ее частиц в сыром состоянии склеиваться (когезия), а также прилипать к другим предметам (адгезия). Это средство изучали в связи с работой почвообрабатывающих машин.

Если связность почв определяет величину удельного сопротивления почвы при пахоте, когда почвы сухие, то липкость всецело определяет трудность обработки влажной почвы.

Липкость почва — сталь — одно из важнейших физико-механических свойств почвы, определяет работоспособность почвообрабатывающих и других сельскохозяйственных машин при влажности, превышающей нижний предел пластичности почвы. Однако это свойство очень мало изучено.

Увеличение липкости с повышением влажности и дисперсности почвы объясняется увеличением сил молекулярного взаимодействия в связи с ростом контакта металла с почвой и увеличением сил на границе раздела почва — металл. Этим же объясняется увеличение липкости от увеличения нормального давления прилипшей пластинки к почве. Такое увеличение липкости происходит до определенного давления, с превышением которого резко увеличивается объемная влажность, способствующая уже уменьшению липкости.

Б. В. Дерягин и Н. Кротова придают большое значение в проявлении липкости электростатическим силам двойного электрического слоя. По Фуксу липкость уменьшается при движении к изоэлектрической точке со стороны щелочного и кислого рН.

Никольс, Куммер, Байбаков, Могильный указывают на то, что химический состав металла влияет на проявление липкости. Так, липкость увеличивается с увеличением в металле углерода и уменьшается от введения в металл хрома, никеля, меди и др.

В основном изучение липкости почва—сталь позволит определить для разных почв и горизонтов влажность начальной липкости почвы к металлу. Влажность начальной липкости определяли на приборе Н. А. Качинского для расчета оптимальной влажности, или физической спелости почвы, при ее механической обработке. По данным Н. А. Качинского, физическая спелость наступает при влажности почвы меньшей на 2—3% влажности начального прилипания.

Было установлено, что с увеличением содержания в почве гумуса и улучшением структуры липкость почв к металлу уменьшается, а влажность начального прилипания увеличивается. Поэтому липкость металл—почва с углублением генетических горизонтов увеличивается. Например, в наших исследованиях влажность начального прилипания пахотного слоя дерново-подзолистых почв была 17%, светлосерых лесных почв — 22%, оподзоленного чернозема — 24% и обыкновенного чернозема — 26%.

На полевом приборе нашей конструкции липкость пахотного слоя и генетических горизонтов обнаруживали при большей влажности начального прилипания по сравнению с прибором Н. А. Качинского.

Таким образом, изучение липкости металл — почва наряду с пластичностью позволяет практически точно определять оптимальную влажность или физическую спелость почвы для рациональной обработки.

Изучение этого свойства в настоящее время ведется уже на

принципиально новых основах, при которых измеряется действие на прилипшую к металлу почву не только нормальных сил отрыва, но и боковых (тангенциальных) сил, действующих на прилипшие к рабочим поверхностям орудий частицы почвы со стороны движущегося пласта почвы (Желиговский, Кузнецов, Устинов, Мильцев и др.).

Многие ученые изучали также коэффициенты трения скольжения почвы по стали (Зелинский, Шахбазян, Гологурский, Пигулевский, Щучкин, Синеоков, Желиговский, Никольс, Вадюнин и др.).

Это объясняется тем, что при обработке почв рабочие органы почвообрабатывающих машин встречают сопротивление, обусловленное не только сцеплением частиц почвы, но и трением их о поверхность этих органов. Затрата тягового усилия на преодоление внешнего трения достигает 35—40% и более от общего расхода энергии при обработке почвы.

Коэффициент трения скольжения входит во многие расчетные формулы тягового сопротивления плугов, культиваторов и других машин. Всестороннее изучение внешнего трения почвы позволит сэкономить горючее и металл.

В опытах применяли прибор конструкции Г. Н. Синеокова. Нормальное удельное давление колебалось в пределах 0,20—0,80 кг/см². В результате исследований были установлены некоторые закономерности.

1. Коэффициенты трения скольжения почва — металл с повышением влажности почвы, начиная от ее гигроскопичности, увеличиваются до максимума при влажности, несколько меньшей нижнего предела пластичности. После максимума с дальнейшим увеличением влажности коэффициент трения уменьшается.

Максимум трения выражен тем выше и тем четче, чем больше в почве содержится илистых частиц и чем больше обесструктурена почва. В максимуме трение почвы по металлу часто переходит в трение почвы по почве.

2. Коэффициент трения скольжения почвы по металлу уменьшается с увеличением удельного нормального давления, что имеет большое значение для расчета условий незалипаемости почвообрабатывающих машин, а также для анализа физической спелости почвы. Последнее было показано оригинальными исследованиями Бахмутова, Кузнецова, Цымбала, Байбакова, Могильного, Мильцева, Бредуна, Яковенко, Пригожей, Устинова.

3. Коэффициент трения скольжения увеличивается с увеличением скорости скольжения суглинистой почвы по отвалу плуга, что может иметь большое значение для расчета скоростной вспашки.

Также как и коэффициент трения скольжения почва — сталь, большое значение имеет знание основной прочностной характе-

ристики почвы — сопротивление почвы срезу или сдвигу. На основе ряда определений сопротивления сдвигу можно вычислить коэффициенты сдвига, внутреннего трения и их углы, а также величину сцепления.

На преодоление сопротивления сдвигу или близкой ему деформации скалывания почвы расходуется до 50—60% всей энергии, затрачиваемой плугом на вспашку почвы (особенно сухой).

Сопротивление сдвигу характеризует почву также со стороны несущей способности, податливости ее водной эрозии, устойчивости на откосах каналов, а также для расчета упора почвозащелов тракторных гусениц с почвой и др.

Исследования проводили на одноплоскостном срезном приборе Литвинова по методике, приспособленной для пахотных почв. Образцы почв с ненарушенным сложением — до пахоты, во всем возможном диапазоне увлажнения почв отбирались из пахотного слоя и генетических горизонтов A_1A_2 , В и С. Нормальная нагрузка в 3-х, 4-х вариантах составляла 0,5—1,2 и 3 кг/см². Всего было проведено более 2000 опытов.

В результате исследований получены характеристики указанных показателей сдвига для основных почв СССР, а также подмечен ряд закономерностей, наблюдающихся при деформации сдвига.

1. Сопротивление сдвигу и расчетные величины сцепления и внутреннего трения исследованных почв изменяются в зависимости от влажности по закону уравнения гиперболы. Такие уравнения вычислены как для пахотного слоя, так и для генетических горизонтов изученных почв. При этом для разных почв получены разные выражения гиперболы. Так, другой ход гиперболы и резкий переход от прочного к состоянию с малым сопротивлением заканчивается для пахотного слоя разных почв при различных интервалах их влажности: для дерново-подзолистых почв — при 5—10%, серых лесных оподзоленных — при 10—22%, типичного мощного чернозема — при 15—30%, южного чернозема — при 18—25%, темно-каштановых тяжелосуглинистых почв — соответственно при 18—23 и 10—16%. Наиболее крутой подъем гиперболы отмечен для типичного мощного чернозема и темно-каштановой тяжелосуглинистой почвы, обрабатывавшихся под посев лущением.

Все это говорит о влиянии на механические свойства почв их типа, механического состава и характера предшествовавшей обработки.

В опытах максимальные величины сопротивления сдвигу (более 10—13 кг/см²) отмечены для типичного мощного слитного чернозема и темно-каштановой тяжелосуглинистой слабосолонцеватой почвы, если обычная вспашка под посев заменяется лущением.

На этих же почвах, но при посеве по пахоте сопротивление сдвигу в два-три раза меньше.

На среднесуглинистых дерново-подзолистых и серых лесных оподзоленных почвах, а также на темно-каштановых среднесуглинистых почвах сопротивление сдвигу меньше, чем на предыдущих типах почв.

2. Сопротивление сдвигу и расчетные показатели сцепления и внутреннего трения увеличиваются с увеличением содержания в почвах илстых частиц. Это особенно характерно для иллювиальных и элювиальных горизонтов почв. Такая зависимость подчиняется уравнению прямой.

3. Увеличение сопротивления почвы сдвигу от увеличения плотности (объемного веса) подчиняется также уравнению прямой.

Коэффициенты зависимости между удельным сопротивлением почв при пахоте и сопротивлением сдвигу достигли в некоторых случаях $\zeta = 0,8-1,0$.

Как расчетное, так и экспериментальное сцепление и внутреннее трение почв подчиняются той же зависимости от величины влажности, что и сопротивление сдвигу.

Как известно, **твердостью почвы** называют сопротивление проникновению в нее под давлением какого-либо тела в виде шара, цилиндра, конуса и другой формы, выражаемое усилием в $\text{кг}/\text{см}^2$.

В течение многих лет твердость пахотного слоя и генетических горизонтов разных почв изучали с применением твердомеров Горячкина, Высоцкого, Качинского, Голубева, Ревякина и Львова с разными плунжерами. Наилучшими оказались твердомеры академика Горячкина и построенный на его принципе твердомер Высоцкого для стационарных полевых исследований. Твердомеры Качинского и Голубева более удобны для маршрутно-полевых исследований, как легкие и портативные приборы, а также для работы на монолитах, имеющих ограниченную площадь.

Твердомеры, кроме этого, можно приспособить для определения большинства механических свойств почв. Эти приборы следует широко применять на опытных станциях, МИС, нормировочных пунктах, а также в хозяйствах.

В результате исследований была охарактеризована динамика твердости пахотного слоя и генетических горизонтов основных почв СССР с учетом изменения влажности и агрофонов, на основе которых дополнена классификация почв по твердости, предложенная Качинским. В ней почвы классифицированы не только по показателям твердомера Качинского, но и на основе других широко распространенных твердомеров.

Отмечено, что твердость находится в тесной зависимости от типа почв, механического состава, уплотненности, агрофона и особенно от влажности почвы. Коэффициент корреляции меж-

ду твердостью и влажностью достигал 0,8—0,9. Тесная связь наблюдается между твердостью и удельным сопротивлением почв при пахоте. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах коэффициент корреляции твердости и удельного сопротивления составлял 0,6—0,9.

Механическая обработка почв при **физической спелости** способствует быстрому наступлению биологической спелости, позволяющей своевременно проводить посевные работы.

Физическая спелость в основном определяется оптимальной влажностью почвы при обработке и дает возможность провести наилучшую разделку пашни при минимуме затрат механической энергии.

Физическая спелость почвы наступит при максимальном выходе комков пашни размером 1—10 мм при минимуме пыли и глыб, а также при минимальном удельном сопротивлении почвы при пахоте.

Совместно с ВИСХОМом, заводом имени Октябрьской революции и другими организациями в течение нескольких лет были испытаны 15 вариантов экспериментальных скоростных корпусов плугов конструкции указанных организаций, а также ВИМа. Применялись скорости вспашки от 4 до 18—20 км/час. В результате исследований получены следующие выводы:

1. На почвах европейской территории СССР — дерново-подзолистых, черноземных, каштановых, вспашка стандартными экспериментальными скоростными плугами не создавала опасного распыления почв, превышающего «порог вредности работы почвообрабатывающих орудий» (по Вильямсу), равный содержанию в почве 30% пылеватых частиц (размером менее 0,25 мм), способных заполнить все неволосяные промежутки в пахотном слое. После этого (по Вильямсу) из-за распыления вспашка становится бесполезной. Максимальное распыление (15—19%) наблюдалось на светло-каштановых почвах Калмыкии. При движении агрегата со скоростью 9—10 км/час на многих почвах крошение почвы уменьшалось, но с повышением скорости снова увеличивалось (так было в 1960 г.).

2. На дерново-подзолистых почвах, черноземах, темно-каштановых и светло-каштановых почвах установлено, что физическая спелость почв не постоянное свойство, как это считали раньше — до введения больших скоростей вспашки. Физическая спелость почвы — динамическое свойство, увеличивающееся от скорости вспашки, а также от изменения геометрической формы рабочей поверхности плуга, возделываемой культуры и т. д.

Это положение имеет большое производственное и теоретическое значение, так как позволяет начинать обработку почв на повышенных скоростях, при увеличенной влажности почвы, а также заранее знать, какое крошение почвы будет при такой-то скорости вспашки и определенном значении влажности почвы.

При увеличении скорости вспашки почвы с повышенной влажностью увеличивается нормальное давление пласта почвы на отвале плуга, а это приводит к лучшему самоочищению отвала и более интенсивному крошению почвы.

Широкое изучение крошения почвы при пахоте стандартными экспериментальными скоростными корпусами в основных почвенных зонах страны позволило проанализировать пределы крошащего действия плугов (по Вильямсу), а также предложить количественные шкалы этого показателя, разработать и обосновать показатели физической спелости почвы и совместно с ВИСХОМом и другими организациями рекомендовать для скоростных плугов наиболее перспективные корпуса КСШ и КСБ.

Имеющиеся литературные данные по вопросу удельное сопротивление почв, хотя и представляют большую ценность для конструкторов, но они явно недостаточны для государственного планирования производства плугов по прочности, а тракторов по мощности для отдельных почвенных зон СССР, так как они собраны в разное время, при разной глубине вспашки и агротехнике, разными плугами, динамометрами и поэтому несопоставимы.

Чтобы как-то восполнить этот пробел и показать пример, что эти опытные работы можно провести широко и на высоком методическом уровне совместно с ВИСХОМом и Таджикским почвенным институтом, нами проведены исследования удельных сопротивлений почв в дерново-подзолистой, серой лесной, черноземной, темно-каштановой, светло-каштановой и сероземной почвенных зонах и подзонах.

В результате этих работ получены показатели удельного сопротивления исследуемых почв при пахоте навесными и прицепными плугами при скорости от 4 до 18—20 км/час, а также выведены некоторые закономерности.

Найдена и рассчитана функциональная зависимость удельного сопротивления почвы при пахоте от влажности, подчиняющаяся уравнению параболы второй степени (вогнутая кривая). Такая зависимость характерна для большинства почв европейской и азиатской частей СССР. Только на светло-каштановых почвах Калмыкии была отмечена не вогнутая, а выпуклая парабола. Параболическая зависимость позже была найдена для большинства почв Украины (Ю. К. Киртбай и П. И. Могильным). При этом для каждого типа почв характерен свой тип параболы. Так, например, минимум удельного сопротивления почв на вогнутой и максимум на выпуклой параболе достигается при большой влажности у почв с большим содержанием гумуса и лучшей структурой. От типа почвы меняется и угол наклона ветвей параболы.

Минимум удельного сопротивления почв при пахоте соответствует «физической спелости почв», причем этот минимум все

более смещается в сторону большей влажности при возрастающих скоростях вспашки. При этом увеличение физической спелости почвы не должно превышать влажности нижнего предела пластичности почв. Интервал влажности физической спелости, фиксируемый для минимума удельного сопротивления, совпадает с интервалом физической спелости почв при оптимальной разделке пашни.

Совместно с ВИСХОМом проведены сравнительные исследования удельного сопротивления разных почв прицепными и навесными плугами со стандартными и экспериментальными корпусами плугов на скоростях пахоты от 4 до 15—20 км/час. Увеличение скорости вспашки способствовало увеличению удельного сопротивления почв, которое в процентном отношении отставало от темпа увеличения скорости движения плуга. Так, на темно-каштановых почвах Одесской области при глубине пахоты 22 см опытыми плугами и изменении скорости вспашки с 6 до 12 км/час удельное сопротивление возросло только на 32%, или на 5,2% на каждый 1 км/час увеличения скорости. При глубине пахоты 27 см — увеличение скорости с 6 до 15 км/час, удельное сопротивление почвы повысилось только на 50%, что составило 5,5% на каждый 1 км/час увеличения скорости. Полезное удельное сопротивление экспериментальных корпусов плугов в диапазоне скоростей вспашки 6—13 км/час в среднем (на 10—15%) ниже, по сравнению с плугами со стандартными корпусами.

Отмечена тесная коррелятивная связь между удельным сопротивлением почвы и другими физическими и физико-механическими свойствами — твердостью, сопротивлением сдвигу, влажностью, что позволяет косвенно судить о первом по изменению второго и других свойств. Эти связи помогают также теоретическому решению задач механики почвы.

В результате совместных исследований предложена схема-макет классификации удельного сопротивления пахотных почв СССР в зависимости от типа и механического состава почв для прицепных и навесных плугов.

Выводы:

Чтобы разработать теоретические и производственные основы рационального использования машинно-тракторного парка, необходимо провести детальный подсчет площадей пахотных почв разных типов по их механическому составу, каменистости и солонцеватости, составление соответствующих карт и картограмм в масштабе колхозов, совхозов, районов, областей и республик; вести систематические исследования удельных сопротивлений почв разных типов и составлять соответствующие карты и картограммы.

Организовать постоянное изучение физико-механических и технологических свойств разных типов почв СССР. Это позволит решить теоретические и конструкторские задачи при производстве почвообрабатывающих машин, а также создавать тракторы и плуги в зависимости от почвенных условий.

Создать в структуре научно-исследовательских испытательных и нормировочных организаций по сельскому хозяйству, соответствующие технологические лаборатории по изучению физико-механических и технологических свойств почв.