

ц 63
П 27
1085647

Академия наук СССР

ПЕРЕУПЛОТНЕНИЕ ПАХОТНЫХ ПОЧВ

·Наука·



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ
И МЕЛИОРАЦИИ ПОЧВ
ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ФОТОСИНТЕЗА

ПЕРЕУПЛОТНЕНИЕ ПАХОТНЫХ ПОЧВ

*Причины, следствия,
пути уменьшения*

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР В.А. КОВДА



МОСКВА "НАУКА"

1987

Переуплотнение пахотных почв: причины, следствия, пути уменьшения. М.: Наука, 1987.

В книге рассматривается новая проблема, возникшая в результате интенсификации механической обработки почв и увеличения веса машинно-тракторных агрегатов. Приводятся обобщенные данные потерь сельскохозяйственной продукции под действием переуплотнения почв. Описаны полевые, вегетационные, лабораторные эксперименты и аппаратура, с помощью которой всесторонне характеризуются процессы уплотнения и разуплотнения почв. Обоснованы современные и перспективные агротехнические и механико-технологические приемы уменьшения переуплотнения почв.

Табл. 121, ил. 31, библиогр. 101 назв.

Рецензенты

А.Д. Воронин, Г.А. Булаткин

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема уплотняющего воздействия техники на почву возникла с появлением первых тракторов на полях страны еще в 20-е годы. Уже тогда исследователи отмечали, что ходовые системы существовавших в то время сравнительно легких тракторов значительно уплотняют почву. Актуальность этой проблемы возрастает по мере интенсификации и механизации сельскохозяйственного производства.

Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур сопровождаются многократным проходом по полю тракторов, сеялок, комбайнов, автомашин и другой техники. Только ходовые системы тракторов в период предпосевных обработок и сева покрывают следами от 30 до 80% поверхности поля. Некоторые участки поля подвергаются 3–9-кратному воздействию движителей. Интенсификация сельскохозяйственного производства, значительное повышение урожайности и необходимость снижения затрат труда вызывают появление на полях все большего числа различных машин и тракторов со все большей единичной массой. Так, новые мощные тракторы общего назначения К-700, К-700А, К-701, Т-150, Т-150К имеют массу в 1,3–2,4 раза большую, чем их предшественники. Значительно возросла масса комбайнов, транспортных средств.

Аналогичная тенденция наблюдается и за рубежом. В США, например, с 1951 по 1965 г. средняя масса колесного транспорта увеличилась на 90%, а гусеничного мощностью свыше 50 л.с. — на 50%. В ФРГ число тракторов на 100 га увеличилось в 1979 г. по сравнению с 1960 г. с 6,1 до 10,1; мощность тракторов повысилась в 1980–1981 гг. по сравнению с 1956 г. в 3 раза, а масса единичного трактора выросла за это время в 2,3 раза. В 2 раза повысилась масса прицепов [цит. по: Рабочев и др., 1980, с. 49]. Повышаются средние и максимальные давления движителей на почву. Установлено, что в пахотном слое почвы напряжение под колесами трактора К-700 в 1,5–2 раза больше, чем под колесами пропашных колесных и гусеничных тракторов общего назначения.

Исследования по оценке влияния движителей сельскохозяйственной техники на почву в СССР были начаты еще в 20-е годы Н.А. Качинским и М.Х. Пигулевским, которые отмечали, что движители существующих в те годы тракторов значительно уплотнили почву. Н.А. Качинский в статьях, опубликованных в "Бюллетенях почвоведов" (№ 3–4 за 1927 г.) и в журнале "Почвоведение" (№ 2 за 1927 г.) показал, что тракторы "Аванс" и "Мак-Кормик" с массой соответственно 2956 и 2514 кг, с удельным давлени-

нием на почву 0,80 и 0,63 кг/см² не влияли на сухую каштановую почву и резко уплотняли эту же почву во влажном состоянии, снижая общую пористость, влагоемкость, водопроницаемость.

Эти исследования были продолжены в 60-е годы, когда в стране вышли на поля тяжелые колесные тракторы. К середине 70-х годов в СССР и за рубежом были накоплены данные, показавшие, что проблема отрицательного воздействия движителей на почву приобретает исключительную актуальность, что воздействие ходовых систем сельскохозяйственной техники ведет к ухудшению физических свойств почв, значительному снижению их плодородия и урожаев. В связи с этим к исследованиям проблемы уплотнения почв был привлечен ряд ведущих институтов страны: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ВНИИ механизации сельского хозяйства, Сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Главными организациями по разработке проблемы были избраны Почвенный институт им. В.В. Докучаева и ВНИИ механизации сельского хозяйства.

Основное внимание в исследованиях уделяется изучению изменения агрофизических свойств и деформаций почв под воздействием движителей сельскохозяйственной техники, взаимосвязи между уровнем их воздействия на почву и динамикой ее самовосстановления во времени, между уровнем воздействия внешних сил, напряженным состоянием и внутренними изменениями почв. Особо изучается воздействие техники на урожай и рост сопротивления почв обработке. Целью всех этих исследований является разработка и обоснование рекомендаций по установлению единых нормативных показателей оценки величины воздействия движителей на почву, разработка стандарта по ограничению уровня воздействия на почву, разработка и обоснование рекомендаций по совершенствованию новых движителей сельскохозяйственной техники.

Предлагаемая вниманию читателей книга представляет собой первое в отечественной литературе коллективное обобщение исследований, выполненных специалистами различных профилей — почвоведов, земледельцами, механизаторами, экономистами, конструкторами сельскохозяйственной техники, систематически изучающими вопросы взаимодействия машинно-тракторных агрегатов с почвой. Это коллективный взгляд ученых и инженеров на проблему "почва—машина—урожай", причины ее возникновения и обострения в последние годы. В книге предложены эффективные пути снижения степени переуплотнения пахотных почв страны. Широкое ознакомление научной общественности и производственников с новой проблемой, активизация усилий, выработка согласованных и методологически верных подходов к ее решению — цель авторов этой книги.

Большую помощь в подготовке к изданию книги, ее научном редактировании оказали доктор биол. наук В.В. Медведев и доктор сель.-хоз. наук А.Г. Бондарев.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКОЙ

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ И РЕЖИМОВ ПОЧВ ПРИ ИХ УПЛОТНЕНИИ

Методы исследования свойств и режимов почв при уплотнении сельскохозяйственной техникой делятся на полевые и лабораторные. Полевые методы исследования проблемы воздействия движителей сельскохозяйственной техники на почву, в свою очередь, подразделяются на три группы.

Полевые методы моделирования уплотняющего воздействия движителей наиболее распространенной и используемой техники на весенних и осенних операциях по подготовке почвы к посеву, во время посева, ухода за пропашными культурами, уборки урожая и т.п. Используется прием сплошного покрытия поля следами техники. Контроль покрытия полевых деланок следами моделируется в размере, приближенном к реальному числу проходов техники в принятой технологии возделывания той или иной культуры.

Такие опыты на деланках размером 7×25 (30) м закладываются под посев озимых, яровых зерновых и пропашных культур в соответствии с программой и методикой комплексных исследований по изучению влияния ходовых систем сельскохозяйственных тракторов, комбайнов и транспортных средств на почву (Программа..., 1979). Опыт работ по этому методу показывает, что 2- и 4-кратного прохода техники по одному следу вполне достаточно, чтобы получить модель среднего и практически максимального воздействия на почву. Влажность почвы при воздействии на нее техники подбирается в соответствии с реальной влажностью, при которой проводятся ранневесеннее внесение удобрений, закрытие влаги, предпосевные обработки, посев, уход за растениями и их уборка, т.е. от влажности 0,9 НВ до влажности, равной 0,5–0,6 НВ.

Изучение свойств и режимов почв по следам реальной техники в производственных условиях. Этот метод особенно актуален при изучении воздействия техники на почву в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур с использованием постоянной колеи. Исследования проводятся по центру следов техники, по их краям и в 25–30 см от края следа, с тем чтобы проследить границу не только вертикального, но и горизонтального уплотняющего воздействия техники на почву.

Изучение свойств почв с помощью жестких штамповых имитаторов (деформаторов), позволяющих контролировать давление на почву при вертикальном нагружении. Штампы-имитаторы для вертикального нагру-

жения устанавливают на подвижное средство (автомашины, трактор), оборудованное механизмом гидравлического нагружения, обеспечивающим жесткую фиксацию штампа по всем координатам, кроме вертикальной. С помощью жестких прямоугольных штампов-деформаторов (размером 12,5 X 12,5 см; 17 X 39 см; 34,5 X 34,5 см) изучается влияние различной нагрузки (50–200 кПа), числа циклов нагружения, различных исходных значений влажности и плотности почвы.

Лабораторные исследования почв при их уплотнении проводятся на специальных установках одноосного (одометры) и трехосного (стабилометры) сжатия, позволяющих задавать статические нагрузки на образец почвы в широком интервале давлений, исходных влажности и плотности.

При любом методе исследования свойств и режимов почв при уплотнении нужна обстоятельная характеристика их исходных основных свойств, чтобы лучше интерпретировать полученные результаты и чтобы их можно было с достаточным основанием распространить на аналогичные в почвенно-климатическом отношении территории.

Назовем обязательные из показателей физических свойств почвы, которые, с одной стороны, определяют в значительной мере степень деформации почвы при воздействии на нее ходовых систем сельскохозяйственной техники, способность противостоять уплотняющим деформациям и, с другой стороны, определяют способность почвы разуплотняться как под влиянием природных факторов (набухание при увлажнении, изменения объема при замерзании во влажном состоянии и т.п.), так и при механическом рыхлении. Это механический или гранулометрический состав, микро- и макроструктурный состав, т.е. механическая прочность и водопрочность макро- и микроструктуры, плотность (объемная масса) и влажность.

Значение механического состава почвы проявляется не только в том, что этим показателем определяются многие физические и физико-механические свойства (структура, сложение, сопротивление почвы сдавливанию и раскливанию, набухание, пластичность и т.п.), но и в том, что степень деформации почвы при воздействии на нее ходовых систем определяется степенью дифференциации (распределения) элементарных частиц по размеру. Следовательно, уже на основе количественных данных по механическому (гранулометрическому) составу мы сможем прогнозировать уплотнение почвы под влиянием ходовых систем.

Микроагрегатный состав и характеристика макроструктурного состава (механическая прочность и водопрочность структуры) также являются важнейшими факторами, определяющими степень податливости почвы уплотняющим деформациям. В исследованиях, проведенных в отделе физики и механики почв Почвенного института им. В.В. Докучаева, показано, что на почве с высоким содержанием механически прочной и водопрочной структуры деформация снижается вдвое по сравнению с той же по механическому составу и по содержанию гумуса, но обесструктуренной почвой.

Плотность почвы также является важным показателем физического состояния почвы и параметром, от которого зависит степень ее деформации. Значение этого показателя изменения почвы в уплотнении общеизвестно и общепризнано.

Общая пористость является важным показателем изменения почвы при воздействии на нее ходовых систем. Этот показатель должен входить в число обязательных при изучении изменения почвы под воздействием техники. В связи с тем что часто на уплотненных почвах повышается выход водопрочных агрегатов (по методу Саввинова), необходимо определение пористости агрегатов. Определение распределения пор по размерам углубляет наши представления о характере изменения порового пространства; его, по-видимому, следует отнести к категории желательных для исследований показателей, тем более, что методика определения по энергетике удержания влаги в почве (по кривой водоудержания), т.е. с использованием капилляриметрического метода и метода мембранных прессов, достаточно сложна и далеко не все исследователи имеют соответствующие лабораторные возможности.

Важнейшим фактором, определяющим степень уплотнения и разуплотнения почв, является их влажность. Влажность следует учитывать как при оценке несущей способности почвы (т.е. важен учет влажности в момент воздействия техники на почву), так и при изучении последствия уплотнения, а также при изучении процесса разуплотнения. Известна связь плотности почвы с влажностью. При оценке действия уплотнения почв на водный режим и на влагообеспеченность необходимо оценить изменение запаса продуктивной влаги, оценить количественно ту часть общей почвенной влаги, которая в результате уплотнения почвы перешла в категорию, недоступную для растений.

В качестве крайне желательного показателя в изучении изменения почвы при уплотнении необходимо назвать ее водопроницаемость. Из физико-механических свойств обязательно определение твердости почвы, или сопротивления расклинивающему давлению. Практика исследований показывает высокую информативность этого показателя при изучении уплотнения почв ходовыми системами. В качестве желательных при глубоком изучении изменения свойств почв при их уплотнении следует считать пластичность по Аттербергу, сопротивление почвы сдвигу, компрессионные свойства почвы. Особенно важной представляется влажность нижнего предела пластичности, которая близка к влажности физической спелости. Определение этого показателя необходимо, так как все испытания по уплотняющему воздействию техники на почву мы должны проводить в соответствии с агротребованиями при влажности физической спелости или при влажности, оптимальной для обработки. К сожалению, приходится констатировать, что методика определения нижнего предела пластичности по Аттербергу далека от современных требований, а надежного инструментального метода определения этого показателя пока нет. Сопротивление почв сдвигу является важнейшей прочностной характеристикой почв. Испытание почвы на сдвиг при разных увлажнениях и нагрузках может дать много ценных сведений для понимания процесса уплотнения почв ходовыми системами.

Компрессионные испытания почвы в одометрах, т.е. без бокового расширения, несмотря на известные недостатки этого метода, позволяют судить о вертикальной деформации под влиянием нагрузки, т.е. так же как и штамповые испытания, дают возможность с определенной долей приближения моделировать процесс уплотнения почв ходовыми системами,

определять упругие и пластические деформации почв. Поскольку почва при воздействии на нее ходовых систем по сути дела испытывает давление не только сверху, но и со всех сторон, гораздо ближе к природным условиям будет моделирование деформации почвенного образца (монолита) в так называемых приборах трехосного сжатия — стабилометрах, позволяющих задавать как вертикальное, так и боковое давление на образцах, менять его и т.п.

Ждут своей очереди и своих исследователей реологические свойства почв в связи с проблемой уплотнения почв ходовыми системами сельскохозяйственной техники (релаксация, ползучесть, текучесть, вязкость, тиксотропность и т.д.). С позиций реологии объясняется зависимость сопротивления почв внешним воздействиям (нагрузкам) от скорости приложения сил при этих воздействиях. В зависимости от скорости приложения внешних сил в почве будут преобладать то упругие деформации, то ползучесть и текучесть. Эти вопросы применительно к грунтам разработаны в грунтоведении, инженерной геологии. При использовании соответствующих приборов и методик применительно к поставленным задачам нужны дополнительные методические проработки.

В изучаемой проблеме важное место занимают естественные процессы разуплотнения почв, а также эти процессы, усиленные всевозможными искусственными приемами (рыхление, внесение органических удобрений, структурообразующих веществ и т.п.). Зная исходные свойства почвы, степень ее деформации и глубину деформации, можно прогнозировать процесс саморазуплотнения и планировать эксперименты по искусственному разуплотнению почв. На практике, в условиях интенсивного земледелия, нецелесообразно ждать, пока почва саморазуплотнится, ей надо помогать в этом, т.е. применять механическое рыхление почвы, внесение мелиорирующих веществ.

Назначение тех или иных мероприятий по разуплотнению, в том числе и в опытно-полевом порядке, необходимо всесторонне обосновать. В опытах по изучению уплотнения почв ходовыми системами необходимо по возможности выяснить как общий ущерб по потере урожая, так и дифференцированный, за счет уплотнения подпахотных горизонтов, с тем чтобы оценить экономическую эффективность энергетических затрат, связанных в первую очередь с глубоким рыхлением почв. В зависимости от глубины уплотнения, целесообразности разуплотнения почвы на ту или иную глубину будут назначаться мелиоративные обработки и внесение мелиорирующих веществ.

МЕТОДИКА И СХЕМЫ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

Б.А. Доспехов (1979) указывал, что достоверная количественная оценка действия ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на эффективное плодородие почвы может быть дана только в условиях длительных полевых стационарных экспериментов с моделированием многократного уплотнения полей движителями машин и естественным процессом разуплотнения почвы. Некоторые аспекты проблемы "движитель—почва—растения" могут быть решены в краткосрочных нестационарных опытах, которые закладывают ежегодно по неизменной схеме с одной и той же культурой на новых участках и повторяют 3—4 года.

Земельный участок для будущего опыта должен быть типичным по свойствам, плодородию почв и рельефу для района исследования, иметь однородный почвенный покров и известную хозяйственную историю. Особенно однообразными на всем участке должны быть те агротехнические приемы, которые резко и на длительный срок изменяют плодородие почвы. Результаты опытов, проведенных на полях с неизвестной историей, теряют всякую ценность и достоверность, так как при этом нельзя установить, к каким конкретным хозяйственным условиям они могут быть применимы.

Для детального изучения вариации и повышения однородности почвенного плодородия проводят уравнительные и рекогносцировочные посевы при высоком уровне агротехники. Проведение дробного учета позволяет выделить наиболее однородные по плодородию участки, установить правильный размер, форму и расположение делянок и рассчитать необходимую повторность исходя из запланированной ошибки опыта. Моделирование плана будущего эксперимента осуществляется в соответствии с задачами исследования, техническими условиями проведения опыта и характером территориального варьирования плодородия земельного участка.

При выполнении различных технологических операций, включающих в себя обработку почвы, посев, уход за посевами в период вегетации и уборку урожая, уплотняется 20–70% площади поля, а суммарная площадь следов может превосходить площадь поля в несколько раз. При этом качественно и количественно уплотнение пахотного и подпахотного слоев различно, а следовательно, неодинаково и их влияние на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур. В связи с этим целесообразна оценка как общего уплотнения пахотного и подпахотного слоев почвы, так и уплотнения только подпахотного ее слоя. Критерием оценки в обоих случаях должна быть урожайность полевых культур.

Схемы многократных стационарных опытов, разработанных на кафедре земледелия и методики опытного дела Сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева (Б.А. Доспехов, А.И. Пупонин) позволяют на основе моделирования процесса длительного воздействия ходовых систем современных тракторов на почву установить закономерности изменения агрофизических и биологических показателей ее плодородия, а также уровни отрицательного воздействия тракторов на почву и урожайность сельскохозяйственных культур. Важной особенностью этих опытов является возможность их дальнейшего совершенствования путем наложения новых факторов (приемы разуплотнения, последствие многократных деформаций) на созданный в предшествующие годы экспериментальный фон.

Схема опыта, заложенного в учхозе "Михайловское" (Московская обл.) в 1975 г.:

Фактор А. Марки трактора: 1 – МТЗ-80; 2 – Т-150; 3 – Т-150К; 4 – К-700 (К-701).

Фактор В. Дополнительные уплотнения: 1 – без уплотнения (контроль); 2 – уплотнение в один след; 3 – уплотнение в два следа.

Опыт имеет две закладки, в каждой из которых развернут во времени следующий севооборот: 1) бобово-злаковая смесь, 2) озимая пшеница, 3) ячмень, 4) картофель, 5) ячмень. В одной закладке опыта чередование начато с бобово-злаковой смеси, в другой – с ячменя 5-го поля (табл. 1).

Чередование полевых культур в опыте

Год	I закладка		II закладка	
	Число уплотнений под предшественники и культуру	Культура	Число уплотнений под предшественники и культуру	Культура
1975	1-2	Вико-овсяная смесь	1-2	Ячмень
1976	2-4	Озимая пшеница	2-4	Вико-овсяная смесь
1977	3-6	Ячмень	3-6	Озимая пшеница
1978	4-8	Картофель	0-0 (3-6) *	Ячмень
1979	5-10	Ячмень	4-8	Картофель
1980	6-12	Вико-овсяная смесь	5-10	Ячмень
1981	7-14	Озимая пшеница	6-12	Вико-овсяная смесь
1982	0-0 (7-14) *	Ячмень	7-14	Озимая пшеница
1983	8-16	Картофель	0-0 (7-14) *	Ячмень
1984	9-18	Ячмень	8-16	Картофель
1985	10-20	Вико-овсяная смесь	9-18	Ячмень
1986	11-22	Озимая пшеница	10-20	Вико-овсяная смесь
1987	12-24	Ячмень	11-22	Озимая пшеница
1988	13-26	Картофель	12-24	Ячмень
1989	14-28	Ячмень	13-26	Картофель

* Последствие 3-6- и 7-14-кратного суммарного за ряд лет уплотнения.

Сплошное дополнительное укатывание физически спелой дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в один и два следа трактора в соответствующих вариантах опыта проводили до предпосевной обработки под яровые культуры и до основной (вспашка на 20-22 см) под озимую пшеницу, т.е. в первом случае почву уплотняли весной, а во втором — в конце лета. Тем самым моделировали длительное воздействие на почву ходовых систем тракторов с целью получения достоверной количественной информации о возможных масштабах депрессии урожая яровых культур (ячмень, вико-овсяная смесь) при систематическом уплотнении пахотного и подпахотного слоев почвы и озимой пшеницы и картофеля при переуплотнении только подпахотного слоя. На контрольных делянках дополнительного уплотнения не делали.

У гусеничной модификации трактора Т-150 среднее удельное давление на почву равно 0,46 кгс/см². Во время закладки опыта давление воздуха в шинах передних колес трактора МТЗ-80 поддерживалось в пределах 1,6-1,8 кгс/см², задних — 1,1-1,2 кгс/см², в задних и передних колесах тракторов Т-150К и К-700 — в пределах 1,0-1,1 кгс/см². При укатывании тракторы двигались прямолинейно вдоль длинной стороны опытной делянки с постоянной скоростью (10,1-10,5 км/ч). Каждый последующий проход трактора по делянке при однократном уплотнении выполнялся так,

чтобы след движителя перекрывался последующим на 5–10%. При двукратном уплотнении трактор проходил по одному следу дважды. В результате таких проходов делянки уплотнялись полностью.

После установления уровней отрицательного воздействия тракторов на почву и урожайность полевых культур (существенное снижение урожайности от переуплотнения подпахотных слоев), которые отмечали после 6 проходов в течение трех лет тракторов Т-150 и Т-150К и после четырех проходов под предшественники и озимую пшеницу трактора К-700 в опыт (1978 г.) ввели *фактор С* – приемы разуплотнения. Изучали следующие варианты: 1 – традиционные методы; 2 – чизелевание на 38–40 см под картофель и озимую пшеницу + традиционные; 3 – чизелевание на 38–40 см под картофель и озимую пшеницу + фрезерование.

Традиционные приемы разуплотнения включали лущение жнивья и зяблевую вспашку на глубину 20–22 см под яровые культуры, лущение и вспашку на ту же глубину под озимую пшеницу, предпосевную культивацию с одновременным боронованием и обработку РВК-3,6 под бобово-злаковую смесь и зерновые культуры, перепашку зяби на 16–18 см и предпосевную культивацию на 8–10 см под картофель.

В вариантах сочетания чизелевания и традиционных методов проводили весеннее рыхление чизельным плугом ПЧ-4,5 на глубину 38–40 см под картофель и осеннее рыхление на эту же глубину под озимую пшеницу. Остальные приемы обработки соответствовали варианту с традиционными методами. На деланках с сочетанием чизелевания и фрезерования основную обработку почвы проводили такую же, как и в вариантах с традиционными приемами, а предпосевное фрезерование под яровые культуры выполняли на глубину 6–8 см трактором Т-150К в агрегате с фрезерным культиватором КФГ-3,6. Эту обработку под картофель и озимую пшеницу проводили ротационным плугом ПР-2,7 соответственно на глубину 16–18 и 20–22 см.

При накоплении 10–20-кратного суммарного за 11 лет уплотнения в подпахотных слоях в опыт (1985 г.) ввели *фактор D* – последствие многократных уплотнений при различных системах обработки. Это дает возможность установить временную зависимость действия переуплотнения подпахотных слоев почвы на ее эффективное плодородие как при обычных, так и при более интенсивных (чизелевание, фрезерование) приемах обработки под различные сельскохозяйственные культуры.

В исследованиях применяли метод расщепленных деланок с рендомизированным размещением вариантов. Повторность опытных вариантов в каждой закладке опыта двукратная, контрольных – шестикратная. Общая площадь одной деланки первого порядка, где размещали варианты фактора *A*, составляла 1800 м², второго (варианты фактора *B*) – 600 м², третьего (варианты фактора *C*) – 200 м² и четвертого (варианты фактора *D*) – 100 м². Схематический план опыта позволяет возделывать культуры сплошного сева по интенсивным технологиям, причем постоянные технологические колеи располагаются на защитных полосах опытных деланок. Урожай учитывали сплошным методом, данные подвергали дисперсионному анализу.

Органические и минеральные удобрения на опытном участке вносили общим фоном: навоз – в дозе 80 т/га перед основной обработкой почвы

под картофель, минеральные удобрения $N_{90}K_{90}P_{90}$ — до предпосевной (предпосадочной) обработки под бобово-злаковую смесь, ячмень, озимую пшеницу и картофель. Запланировано внесение удобрений на планируемый урожай: 45 ц/га зерна ячменя, 50 ц/га озимой пшеницы и 250 ц/га зеленой массы бобово-злаковых смесей и картофеля с учетом уменьшения коэффициентов использования элементов питания в связи с переуплотнением почв.

Важным направлением исследований по снижению отрицательного воздействия движителей тракторов и другой сельскохозяйственной техники на плодородие почвы является оценка эффективности использования тракторов с различным удельным давлением при выполнении конкретных видов полевых работ, особенно сева зерновых культур.

Оценку влияния местного (по следу) уплотнения серийными тракторами ДТ-75, Т-150, Т-150К, К-700 (701) и тракторами с перспективными движителями Т-150ПГ (на пневмогусеничном ходу), Т-150КСШ и К-700 СШ (на двоясных шинах) на изменения агрофизических свойств дерново-подзолистой суглинистой почвы и урожайности полевых культур в зерно-травяном севообороте проводили в однофакторных краткосрочных полевых стационарных опытах. Перед закладкой опытов участки чистовали на глубину 38—40 см для устранения остаточной деформации подпахотных слоев. Под посев почву готовили по принятой в зоне технологии с использованием трактора ДТ-75М. Сев проводили агрегатом, в составе которого был соответствующий варианту трактор и сцеп из трех сеялок СЗ-3,6.

Осевая линия агрегата при проведении сева должна совпадать с осевой линией делянок. После сева проводили разметку колеи, которая должна быть надежной и сохраняться до уборки культуры. Отбор образцов при агрофизических исследованиях и учет урожая осуществляли по четырем зонам: на расстоянии 2 м от внешнего края следа (контроль), рядом со следом, непосредственно по следу и между следами. Ширина полосы сплошной уборки соответствовала ширине колеи после прохода колеса (гусеницы) и составляла в вариантах с тракторами ДТ-75 380 мм (2 рядка), Т-150 и Т-150ПГ — 380 (2 рядка), Т-150К — 530 (4 рядка), К-700 — 680 (5 рядков), Т-150КСШ—1060 (7 рядков) и К-700СШ — 1360 (9 рядков). Площадь уборки 12 м², повторность четырехкратная. Оставшиеся части делянки убирали за два прохода комбайна для учета общей урожайности по вариантам.

Аналогичные опыты важны и при проведении других агротехнических приемов (ранневесеннее боронование зяби, предпосевная обработка почвы, уход за посевами в течение вегетации, уборка и вывоз урожая). Они позволяют комплектовать машинно-тракторные агрегаты (МТА) с учетом влияния движителей тракторов и другой сельскохозяйственной техники на уплотнение почвы и урожай.

Существующие методики предусматривают расчет состава МТА для выполнения технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур на основании определения мощности двигателя и тягового усилия трактора. При этом не учитывается степень отрицательного влияния ходовых систем тракторов и другой сельскохозяйственной техники на уплотнение почвы и урожайность полевых культур. При

определении приведенных и дифференциальных затрат не учитываются затраты, вызванные снижением урожая от уплотнения почвы, которые в отдельных случаях достигают значительных величин.

Предложено при проектировании состава МТА расчет затрат на их эксплуатацию при возделывании сельскохозяйственных культур производить с учетом потерь урожая от переуплотнения полей по следующей формуле:

$$C_{\text{уд.д}} = \frac{gN_0 \Pi_{\Gamma} + 3 + \sum_{i=1}^m z_i B_p + \frac{\Pi_{\Gamma} (d_{\Gamma} + E)}{T_{\Gamma}} + \sum_{i=1}^m \frac{G_m B_p (d_e + E) \Pi_{\text{в}}}{T_e} + \sum_{i=1}^m \gamma_{\text{в}} B_p + \gamma_N N_e + H \Pi_{\text{п}}}{0,1 B_p V_p \tau} \dots$$

где q – удельный расход топлива за 1 ч работы, кг на 1 л.с.; N_e – эффективная мощность двигателя трактора, л.с.; Π_{Γ} – стоимость 1 кг горючего, руб.; 3 – заработная плата тракториста за 1 ч работы, руб.; z – удельная величина заработной платы обслуживающего персонала, руб.; Π_{Γ} – стоимость трактора, руб.; d_{Γ}, d_e – коэффициент отчисления на реновацию; E – норма эффективности капиталовложений; B_p – рабочая ширина захвата, м; $\Pi_{\text{в}}$ – удельная стоимость одного метра ширины захвата сельскохозяйственной машины, руб.; G – масса сельхозмашины, кг; T_{Γ}, T_e – годовая загрузка соответственно трактора и прицепной машины, ч; $\gamma_{\text{в}}, \gamma_N$ – удельная величина затрат на обслуживание и ремонт за 1 ч работы, руб/м, руб/л.с.; H – потери урожая от уплотнения почвы движителями, ц; $\Pi_{\text{п}}$ – цена 1 ц основной продукции сельскохозяйственных культур, руб.

Расчет потерь урожая от уплотнения почвы ходовыми системами тракторов и другой сельскохозяйственной техники предлагается проводить по формуле

$$H = S y h_{\text{п}},$$

где S – площадь поля, на которой отмечено снижение урожая; y – урожайность полевых культур, ц/га; $h_{\text{п}}$ – доля потерь урожая от уплотнения почвы, % (определяется экспериментальным путем).

Суммарная площадь поля, на которой отмечали снижение урожайности, включает в себя площадь прямой деформации (непосредственно по следу) и косвенной (краевые эффекты) – участки рядом со следом движителей. Последняя определяется опытным путем.

Разработанная методика расчета оптимального состава МТА и затрат на их эксплуатацию при выполнении конкретных приемов и всего комплекса полевых работ по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур позволит уменьшить техногенную деградацию различных почв и сократить потери урожая от переуплотнения полей.

ПРЯМЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ УПЛОТНЕНИЯ И НАПРЯЖЕНИЯ В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ

В результате динамического воздействия ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на почву изменяется ее состояние — почва уплотняется. Уплотнение происходит в результате сближения структурных агрегатов, сопровождающегося их разрушением и вытеснением воздуха и воды из уменьшающегося при этом объема пор. Величина уплотнения зависит от массы сельскохозяйственных агрегатов, конструкции ходовых систем, состояния почвы и целого ряда других факторов. При этом изменяются в определенной степени агрофизические и физико-механические характеристики почвы, в первую очередь такие, как плотность, твердость, пористость, водопроницаемость, структура и др. Величиной изменения этих показателей и можно характеризовать уплотнение почвы. Однако это связано с большими трудностями, обусловленными большой трудоемкостью и длительностью определений многих показателей.

Гораздо удобнее уплотнение почвы характеризовать следующими показателями: плотностью сложения, твердостью, деформацией верхних слоев, величиной возникающих напряжений в результате воздействия динамических нагрузок и удельным сопротивлением почвы. Зная плотность, твердость, величину деформации почвы, возникшие напряжения и характер их распределения, а также удельное сопротивление почвы, можно судить о степени воздействия ходовых систем машино-тракторных агрегатов на почву, а следовательно, о возможности их применения в данный период и выбора в конечном итоге оптимального варианта.

Плотность сложения почвы, или объемная масса — это отношение массы при ненарушенном сложении к ее объему. Она определяется методом режущего кольца: пустотелый стальной цилиндр с заостренными кромками вдавливается в почву, а затем определяется масса почвы, заполнившей цилиндр.

Твердость почвы — это сопротивление ее внедрению твердого тела. Она характеризуется силой, необходимой для вдавливания стального шлифованного плунжера цилиндрической, шарообразной, конической формы или в виде трехгранного клина. Высокая твердость почвы, как правило, снижает всхожесть семян, оказывает механическое сопротивление развивающейся корневой системе растений, изменяет водный, воздушный и тепловой режимы почвы. Разработано несколько конструкций приборов для определения твердости почвы: твердомеры Горячкина, ВИСХОМ (Высоцкого), Качинского, Голубева, Ревякина, Алексева и др. (Вадюнина, Корчагина, 1973).

В основу твердомеров Ревякина и ВИСХОМ положен принцип сжатия пружины под влиянием сопротивления, оказываемого почвой погружаемому плунжеру. Твердость почвы регистрируется по всей глубине погружения плунжера (0,3 м) самопишущим приспособлением. Последняя конструкция твердомера позволяет вести отчет твердости по шкале прибора. Твердомер Качинского устроен по револьверному типу, т.е. силой разжатия пружины плунжер погружается в почву. На корпусе твердомера нанесена шкала. Отсчет делений по шкале производят с помощью подвижного кольца-указателя. В зависимости от сопротивления почвы усилие

на плунжер можно менять перестановкой пружин, которые входят в комплект твердомера.

Твердомер Алексеева относится к типу ручных нажимных приборов, но пружина в нем заменена динамометром, а показания отсчитываются по манометру.

Существуют твердомеры Э. Митчерлиха, А.И. Железнова, С.А. Захарова, М.И. Волкова, В.В. Киквадзе и др., представляющие собой стержни с наконечниками. Их погружают в почву, сбрасывая с определенной высоты. С помощью таких приборов можно получить только относительную характеристику твердости почв.

Деформация почвы. При воздействии ходовой части мобильной сельскохозяйственной техники на почву вследствие пластической деформации ее на поверхности поля, как правило, образуется колея. Последняя изменяет микрорельеф, увеличивает поверхность испарения, усложняет условия проведения механизированных работ. Несмотря на последующие поверхностные обработки, микрорельеф, образованный колесами, практически сохраняется в течение всей вегетации (до проведения основной обработки). В случае хотя бы небольшого уклона колея является идеальным ложем для образования стока. Влагоемкость, так же как тепло- и воздухоемкость, в объеме поля будут неравномерными, в целом подпахотные слои уплотненной части поля будут относительно более сухими и холодными, чем неуплотненной. Это приведет к неравномерному развитию корневых систем, уменьшению коэффициента полезного действия удобрений, снижению урожая.

Во время проведения исследований производится замер геометрических размеров колеи и снимается ее поперечный профиль при помощи координатных или пишущих профиломеров. Общий вид профиломерскоординатора в системе прямоугольных координат приведен на рис. 1. Отличительной особенностью этого профиломера является тележка 2, перемещающаяся по горизонтальной рейке 1 со шкалой деления. В качестве горизонтальной рейки можно использовать нивелирную рейку, при которой геометрические размеры тележки соответствуют поперечным размерам самой рейки. При выполнении инструментальных наблюдений рейку (1) устанавливают по уровню на двух регулируемых опорах. Роль вертикальной координатной оси (3) выполняет легкая дюралюминиевая рейка круглого сечения с нанесенным миллиметровым делением. Данная вертикальная рейка может перемещаться вверх и вниз на соответствующих четырех опорных роликах (4). На тележке (2) имеется из органического стекла окошко, на котором нанесены горизонтальная и вертикальная контрольные линии. С горизонтальной линией совмещена соответствующая стрелка, по которой производится отсчет вертикальной точки профиля поля. Для установления горизонтальной координаты вертикальную линию на тележке совмещают с соответствующей риску на горизонтальной рейке.

Профилирование поверхности поля проводят с шагом 5 см. Для получения статистических достоверных результатов достаточно выполнить профилирование в пяти местах поперечного сечения следа уплотнения с интервалом через 1 или 2 м. На рис. 2 приведен образец диаграммы профиля поля и соответствующих следов после многократного прохода трак-

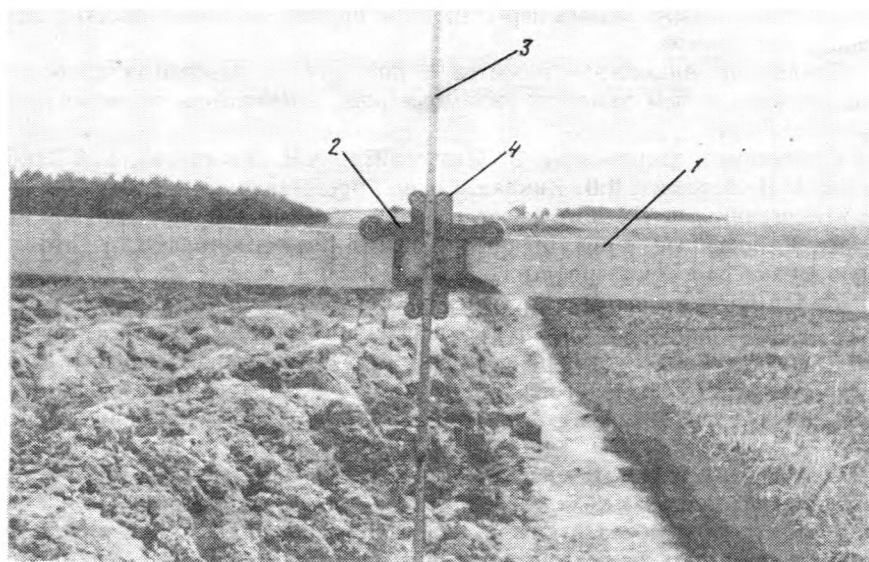


Рис. 1. Профилометр-координатор в системе прямоугольных координат

1 — горизонтальная рейка; 2 — тележка; 3 — вертикальная измерительная рейка; 4 — поддерживающий ролик

тора Т-150К в весенний предпосевной период. Диаграмма получена с помощью описанного профиломера. По профилограммам определяется площадь поперечного сечения колеи, которая наряду с глубиной является основным оценочным показателем при сравнении нескольких вариантов опыта.

Деформация нижележащих слоев почвы может быть определена различными методами. Наиболее часто применяется способ окрашенных "постелей", или окрашенных "призм" (Пигулевский, 1935). Сущность его заключается в том, что на пути движения агрегата выбирается кювета на необходимую глубину. Почва, вынутая из кюветы, просеивается через сито 2—3 мм и разделяется на столько порций, сколько предполагается образовать окрашенных в различные цвета слоев. Каждая порция смешивается с пылеобразной краской в отличный от других цвет, а затем закладывается и затрамбовывается последовательно в кювету. "Постель" увлажняется и оставляется на необходимое время. После прохода агрегата в нескольких местах делают разрезы. Образующиеся профили зарисовываются (фотографируются), что дает возможность получить общую картину деформации почвы и определить ее числовые значения на различной глубине.

Разновидностью указанного способа могут быть способы определения деформации почвы путем закладки в нее окрашенных в различный цвет прослоек на различных расстояниях и глубине (Пигулевский, 1935). В качестве цветных прослоек можно использовать окрашенную почву, различные порошки, бумагу и др.

Деформацию или перемещения почвы под действием рабочих органов

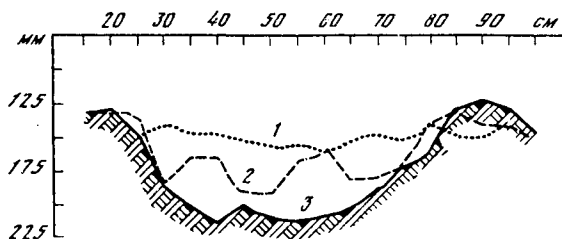


Рис. 2. Диаграмма поперечного профиля поля

1 — до уплотнения; 2 — после одноразового уплотнения; 3 — после четырехразового уплотнения

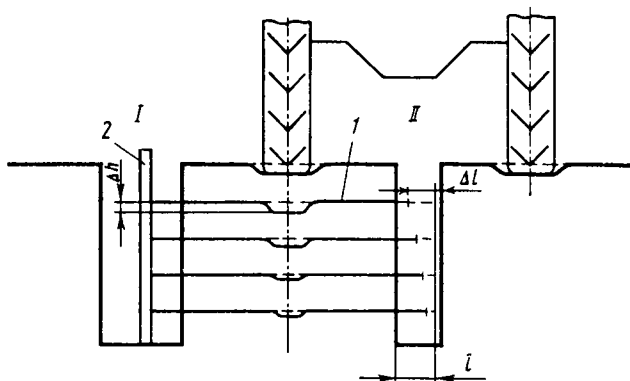


Рис. 3. Схема определения деформации почвы при помощи гибких стальных элементов

I, II — углубления в почве по обе стороны колеи. *1* — гибкие элементы; *2* — зажим, Δh — величина деформации почвы, мм; l — длина свободного нефиксированного конца гибкой ленты, мм; Δl — величина уменьшения l после деформации, мм

сельскохозяйственных машин или ходовых систем мобильных агрегатов можно определить; изготовив специальный стеклянный ящик-модель, на внутреннюю стенку которого наносится алюминиевый порошок. Затем в ящик укладывается почва. При перемещении около стеклянной стенки под действием рабочих органов или ходовых систем мобильных агрегатов почва увлекает и алюминиевый порошок. Фотография перемещения алюминиевого порошка дает представление о перемещении почвы.

Описанные способы пригодны для определения глубины деформации только рыхлых почв, поскольку при закладке меток в уплотненную почву неизбежно нарушение ее естественного сложения. Это снижает объективность полученных результатов. Кроме того, недостатками перечисленных способов являются трудоемкость, сложность и длительность исследований. Для устранения указанных недостатков при определении деформации почвы необходимо сохранить ее естественное сложение.

Нами предложен способ определения деформации почвы, устраняющий основные недостатки описанных способов и сокращающий время выполнения. Суть его состоит в том, что по обе стороны исследуемой полосы почвы выкапывают соответственно два углубления *I* и *II* (рис. 3)

Параметры деформации почвы под воздействием колес трактора Т-150К

Номер ленты	Глубина слоя, м	Твердость почвы, Н/см ²		Параметры деформации почвы в середине колес			
		до закладки лент	после закладки лент	после 4 проходов		после 7 проходов	
				твердость, Н/см ²	деформация, мм	твердость, Н/см ²	деформация, мм
	Поверхность поля	—	—	—	55	—	62
1	0—0,1	263	264	275	35	284	38
2	0,1—0,2	248	247	278	22	285	24
3	0,2—0,3	255	255	288	9	294	10
4	0,3—0,4	—	—	—	0	—	0
5	0,4—0,5	—	—	—	0	—	0

и через толщу почвы из одного углубления в направлении другого пропускают гибкие элементы *I*. В качестве гибких элементов можно использовать отрезки стальной ленты толщиной 0,2 мм и шириной 10 мм. Количество их выбирается в зависимости от того, на какую глубину исследуется деформация почвы. Для закладки лент в почву из углубления *I* в направлении углубления *II* с помощью направляющих втулок (для сохранения горизонтального положения) через толщу исследуемой полосы пропускают стальной стержень толщиной 4—6 мм. Монолитность почвы, т.е. ее естественное сложение, при этом не нарушается, так как толщина стержня небольшая. Затем к концу стержня в углублении *II* присоединяют гибкие стальные ленты и, вытаскивая стержень в углубление *I*, пропускают таким образом их через толщу почвы исследуемой полосы. Расстояние закладки гибких лент по вертикали, как правило, 0,1 м, но может быть принято любым по желанию исследователя, с учетом генетических горизонтов. После прохода агрегата производится поперечный разрез и определяется величина деформации почвы Δh (рис. 3) в каждом слое, а также анализируется характер деформации почвы в целом, для чего разрез полосы зарисовывают или фотографируют.

Результаты исследования твердости и глубины распространения деформации почвы до и после прохода трактора приведены в табл. 2. Как видно из данных таблицы, твердость почвы до и после прохода лент не изменяется, т.е. естественное сложение почвы при этом не нарушается. Твердость же после прохода Т-150К увеличивается.

Преимущество предлагаемого способа заключается в том, что исключается нарушение монолитности почвы при размещении в ней гибких элементов, а следовательно, повышается объективность результатов. Кроме того, в 1,5—2 раза сокращается время на определение деформации почвы и снижаются затраты труда. Применяя вышеописанный способ, время определения деформации почвы и затраты труда можно еще больше сократить, если проводить определение без поперечного разреза почвы. Деформацию почвы можно определить по величине уменьшения дли-

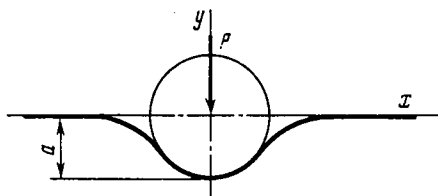


Рис. 4. Деформация почвы под действием вертикальной нагрузки
 P – вертикальная нагрузка, a – глубина реформации

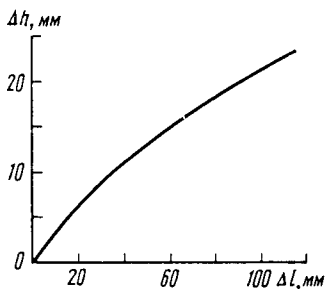


Рис. 5. Зависимость величины деформации почвы (Δh) от изменения длины свободных концов гибких лент (Δl)

ны свободных концов гибких лент в результате их прогиба под действием вертикальных нагрузок.

Процесс определения деформации почвы следующий. Аналогично вышеописанному методу через толщу почвы из одного углубления в направлении другого пропускаются гибкие элементы. С одной стороны они фиксируются неподвижным зажимом 2 (см. рис. 3), а с другой стороны оставляются свободные концы и замеряется их длина l . После прохода машинно-тракторного агрегата замеряется величина уменьшения длины свободных концов Δl , и по этому смещению определяют величину деформации почвы Δh под колесом или другой вертикальной нагрузкой. Для этой цели необходимо установить взаимосвязь между величиной уменьшения длины свободных концов гибких элементов и их прогибом под действием вертикальной нагрузки.

Экспериментальными исследованиями установлено, что под действием вертикальных нагрузок значительно больше деформируются верхние слои почвы; деформация уменьшается с глубиной. Однако характер изгиба гибких элементов, как правило, остается одинаковым для всех исследуемых слоев. Характерная кривая деформации почвы под действием вертикальной нагрузки P приведена на рис. 4. Она наиболее полно описывается уравнением кривой (Вирченко и др., 1979)

$$y = \frac{a^3}{a^2 + x^2}.$$

Для определения длины кривой деформации разобьем ее на бесконечное множество элементов. Тогда длина дуги определится

$$l = \int_0^x \sqrt{1 + y^2} dx.$$

Подставляя значения y , получим

$$l = \int_0^x \sqrt{1 + \frac{4a^6 x^2}{(a^2 + x^2)^4}} dx.$$

Поскольку полученный интеграл нельзя вычислить аналитически, решаем его численно по формуле трапеций (Михайленко, Черноштан, 1984). Расчеты проводились на электронно-вычислительной машине ЕС-1022. Полученные данные позволили построить график зависимости изменения длины свободных концов гибких элементов от величины их прогиба (рис. 5), пользуясь которым можно легко определить деформацию почвы Δh на различной глубине при воздействии на нее ходовыми системами мобильных сельскохозяйственных агрегатов.

Кроме указанных способов, для определения деформации почвы, и в частности величины ее распространения по глубине и в стороны, можно использовать чувствительные электроконтактные датчики (микрореле, переключатели и др.). Они закладываются в почву до прохода агрегата на необходимую глубину и по ширине исследуемой полосы почвы с требуемым интервалом. Каждый датчик соединяется с соответствующей лампочкой на щите и подключается к источнику питания. Почва, деформируясь под действием ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники, замыкает контакты датчиков, и по включенным лампочкам можно определять распространение деформации почвы по глубине и перпендикулярно действию ходовых систем. Недостаток этого метода — большая трудоемкость выполнения работ при закладке датчиков в почву и нарушение монолитности сложения почвы.

Напряженно-деформативное состояние почвы. Значительные перемещения почвы под действием вертикальных нагрузок (ходовых систем сельскохозяйственной техники) происходят в основном в верхних ее слоях. Нижние слои, как правило, перемещаются слабо или совсем не перемещаются, т.е. пластические деформации отсутствуют. Внешняя нагрузка в этом случае передается от одной частицы к другой лишь через точки контакта частиц, которые в большинстве случаев расположены незакономерно или по некоторой структурной сетке.

Почва характеризуется напряженно-деформативным состоянием, главной особенностью которого является то, что при действии внешней нагрузки отдельные ее фазы по-разному сопротивляются силовым воздействиям.

Если возникает предельное напряженное состояние почвы в данной точке, то оно соответствует такому напряженному состоянию, когда малейшее добавочное силовое воздействие нарушает существующее равновесие и приводит почву в неустойчивое состояние — возникают поверхности скольжения, разрывы, нарушается прочность между его частицами и их агрегатами (Цытович, 1973). В связи с этим необходимо изучать напряженно-деформативное состояние как почвы в целом, так и отдельных его фаз во взаимодействии. Зная это состояние, можно дать прочностную характеристику почвы, а следовательно, судить не только об изменениях ее агрофизических свойств, но и несущей способности.

Определить напряженно-деформативное состояние почвы под действием ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники можно при помощи специальных тензодатчиков. Проволочный тензодатчик наклеивается на металлическую пластину, которая будет работать на изгиб. Металлическая пластина (4) (рис. 6) или несколько таких пластин крепят-

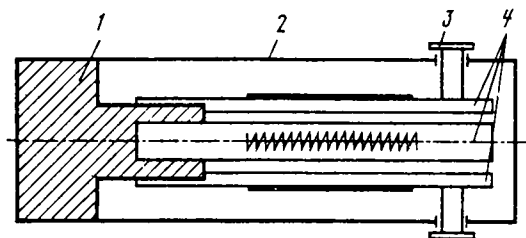


Рис. 6. Схема тензодатчика

1 – основание; 2 – корпус; 3 – штифт; 4 – упругие металлические пластины

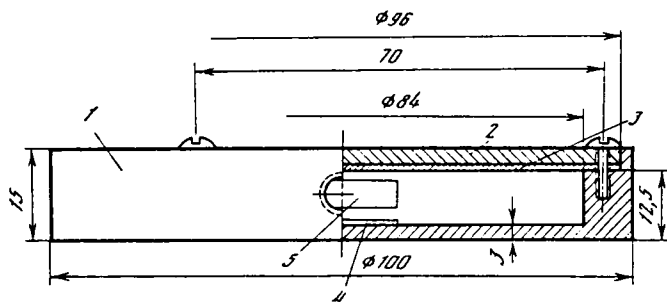


Рис. 7. Конструкция тензометрической месодеи

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – прокладка; 4 – активный тензодатчик; 5 – компенсационный тензодатчик

ся на основании (1) и закрываются корпусом (2), в котором имеются специальные окна, через которые проходят связанные с пластинами (4) штифты (3). Датчики закладываются в почву перед проходом агрегата на необходимую глубину и ширину предполагаемой зоны возникновения напряжений. Перемещение почвы, а также возникающие напряжения воспринимают закрепленные на пластинах штифты (3). В результате деформации пластин соответственно деформируется и проволока датчика, вследствие чего изменяется его омическое сопротивление, являющееся мерой деформации датчика. Соответствующий сигнал экранированным кабелем передается через усилитель к осциллографу.

Такой способ дает возможность определить величину деформации почвы и возникающие напряжения на различном расстоянии от ходового устройства как по глубине, так и ширине его действия. Пластины можно закреплять с четырех сторон основания, поэтому фиксироваться будут как вертикальные, так и горизонтальные составляющие нагрузки, что дает объемное представление о происходящих процессах в почве при динамическом воздействии ходовых систем.

Для измерения нормальных напряжений можно также воспользоваться тензометрическими месодеями мембранного типа (рис. 7), оформленными в виде стакана, в центре на внутренней стороне мембраны которого клеится проволочный тензодатчик сопротивления на 200 Ом, ба-

зой 0,2 м. Компенсационный датчик клеится или на боковую стенку стакана, или же на ту часть мембраны, которая работает при ее деформировании на сжатие. При последнем способе наклейки компенсационного датчика чувствительность мездозы существенным образом увеличивается. Активный и компенсационный тензодатчики соединяются в различные плечи измерительного полумоста, откуда сигнал через трехжильный экранированный токопроводящий кабель передается через усилитель на гальванометр осциллографа. Для предотвращения доступа влаги стакан мездозы закрывается резиновой прокладкой и посредством трех винтов крышкой.

Вместо тензодатчиков, соединенных в полумост, требующих наличия усилителя, можно использовать полупроводниковые кремниевые тензорезисторы, которые соединяются по полной мостовой схеме, записываются элементами от карманной батарейки и являются компактными, легкими и переносными. Такое измерительное устройство разработано в АФИ (Кузнецова и др., 1973).

Непосредственную информацию об остаточных деформациях дают вибродатчики. Для этого можно использовать комплект стандартных вибродатчиков типа К 001, позволяющих определять колебания почвы по всем трем координатным направлениям.

Для установки на опытных делянках различных датчиков в почвенные слои выкапываются специальные ямы (траншеи). В стенке ям делается по размерам корпуса датчика соответствующее углубление, в которое вжимается датчик. Для качественной установки датчиков в почвенные горизонты необходимо иметь соответствующие приспособления.

Тензодатчики и тензометрические мездозы должны быть вжаты в почву как можно плотнее и подальше внутрь стенки траншеи (из расчета половины ширины колеса движителя, измеренной от этой стенки). В отношении вибродатчиков существует лишь единственное требование: чтобы они имели плотное соединение с почвой и во время наблюдения колебались с измеряемым объектом.

Горизонтальные вибродатчики устанавливаются в почву с ориентацией оси маятника: один — поперек направления движения мобильного средства, другой — вдоль. Ось маятника вертикального вибродатчика ориентируют поперек движения агрегата. При установке вибродатчиков требуется проследить, чтобы маятник был уравновешен. Для этого наблюдают в смотровое окно прибора за положением маятника. Последний находится в положении равновесия, если его центральная риска расположена против указателя в окне.

Тензометрические мездозы целесообразно установить в почвенные горизонты через каждые 0,2 м. В комплекте прибора К 001 находятся три вибродатчика, из них два горизонтальных устанавливают в горизонты 0,2 и 0,3 м, а вертикальный — на глубине 0,6 м. При необходимости определения скорости распространения поперечной волны в почве горизонтальные вибродатчики устанавливаются в почву с одинаковой ориентацией оси маятника. Для определения скорости распространения продольной волны один из горизонтальных вибродатчиков перестраивается в вертикальный и оба вибродатчика устанавливают на одинаковую глубину на определенном расстоянии.

После установки датчиков яму засыпают почвой и как можно тщательно утрамбовывают. При достаточном количестве датчиков их после тщательного влагоизолирования можно оставить в почве на продолжительное время. Это дает возможность записать с высокой достоверностью не только все проходы МТА, выполняемые за вегетационный период, но и различные циклы разуплотнения и самоуплотнения почвы, протекающие за определенный календарный период.

Разнообразная информация о процессе уплотнения почвы под влиянием ходовых систем машинно-тракторных агрегатов может быть получена в лабораторных условиях (Агрофизические методы исследования почв, 1966). Имитация действия движителя (в статическом состоянии) достигается на установке, основной частью которой является прозрачный цилиндр из оргстекла высотой 0,3, диаметром 0,1 м. Снизу он имеет сетчатое дно для капиллярного насыщения влагой помещенной в него почвы и для выхода воздуха при ее уплотнении. Цилиндр закрепляют на подставке, имеющей три отверстия и три стержня, груз кладут на площадку, которая имеет столько же отверстий и стержней. Вертикальное перемещение поршня в рабочем цилиндре осуществляется за счет вхождения стержней площадки в отверстия подставки и наоборот – стержней подставки в отверстия площадки.

Исследования на предлагаемой установке дают возможность получить данные об изменении плотности, пористости, воздухоемкости, твердости, водо- и воздухопроницаемости, степени разрушения структуры почвы в зависимости от нагрузки.

Сопоставив исходные данные для неуплотненного образца с теми же данными при разной нагрузке, можно определить максимально допустимую величину удельного давления на почву. Последнее устанавливается на основании сравнения данных свойств почвы с известными агрономическими оценками ее строения (Медведев, Цыбулько, 1978) исходя из предположения, что даже максимально уплотненная почва не может иметь неудовлетворительных оценок плотности, пористости, а также тесно с ними связанных показателей других характеристик почвы. Иначе говоря, если удельное давление машинно-тракторных агрегатов будет ниже допустимой величины или равно ей, показатели структурного состояния и сложения почвы после их прохода будут сохранены по крайней мере на удовлетворительном уровне.

Описанная установка была использована для определения искомой величины в черноземе типичном тяжелосуглинистом. Оказалось, что удельное давление машинно-тракторных агрегатов на почву (при относительно низкой влажности) при основной обработке не должно превышать 0,8–1,0 кгс/см² при посеве и в условиях орошения, когда влажность поддерживается в оптимальном диапазоне, соответствующем наименьшей влагоемкости (НВ) 0,4–0,6 кгс/см². При названных нагрузках пахотный слой исследованной почвы способен сохранить удовлетворительные водно-воздушные свойства, при превышении нагрузок объемная масса, пористость и водопроницаемость становятся неудовлетворительными (табл. 3).

Установка позволяет также изучить процесс деформации почвы визуально. Для этого отдельные слои почвы требуется пометить (например, полосками фильтровальной бумаги). Так, если в образец исследованной

Изменение некоторых физических свойств почвы в зависимости от нагрузки и исходной влажности

Показатель	Нагрузка, кгс/см ²							
	0 (контроль)		0,4–0,6		0,8–1,0		1,2–1,6	
	1,0*	0,7*	1,0	0,7	1,0	0,7	1,0	0,7
Объемная масса, г/см ³	1,12	1,17	1,28	1,22	1,36	1,27	1,45	1,33
Твердость, Н/см ²	10	25	60	75	120	140	150	180
Общая пористость, %	56	54	50	52	46	50	43	48
Пористость аэрации, %	26	24	20	22	14	19	10	17
Водопроницаемость, мм/ч	50	58	40	43	15	38	5	30

* Влажность, доли от НВ.

почвы при набивке ею цилиндра поместить пять меток (№ 1–5) соответственно на глубинах 0,03, 0,07, 0,11, 0,15 и 0,19 м и воздействовать нагрузкой, то можно увидеть, что метки при перемещении пройдут различные расстояния и с различной скоростью. Рассмотрим результаты одного из экспериментов, когда цилиндр набивался наиболее устойчивой к деформации фракцией почвы размером 5–2 мм, а влажность поддерживалась в диапазоне 19–20%, т.е. была несколько ниже, чем при физической спелости. Во время деформации за 30 сек метка № 1 при нагрузке 2,4 кгс/см² опустилась на 0,04 м; № 2 – на 0,027; № 3 – на 0,018; № 4 – на 0,0004; № 5 – на 0 м. Экстраполяция полученных данных показала, что в условиях этого опыта даже давление в пределах 3,6 кгс/см² не уплотняет почвенную фракцию с размерами агрегатов 5–2 мм на глубине 0,19 м и более. Снижение влажности укорачивает, а увеличение – удлиняет время и глубину деформации почвы.

Возможны некоторые иные аспекты применения предлагаемой установки для изучения уплотнения различных структурных фракций, их изменения в процессе деформации, изучения характера деформации в зависимости от влажности и плотности исходного образца. Последнее нам представляется наиболее важным, так как открывает определенные возможности для построения различного рода гипотез об агротехнических и других способах снижения отрицательного влияния машинно-тракторных агрегатов на почву. В частности, имеет смысл определить величину деформации пахотного слоя при условии, что отдельные слои имеют различную плотность и влажность одновременно.

Важно также установить, каким образом влияют на деформацию почвы навоз, структурообразователи, другие мелиоранты, минеральные удобрения. Применение описанной установки может быть перспективно при изучении деформации почв в географическом плане (например, в зависимости от типа почвы, механического, макро- и микроагрегатного, химического состава почв). Есть основание полагать, что во всех перечисленных случаях применение предлагаемой установки оправдано.

Удельное сопротивление почвы будет иметь различное значение для

уплотненных и неуплотненных почв и может служить одним из основных показателей степени уплотнения почвы при воздействии ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники. Показатели удельного сопротивления почвы используются при конструировании сельскохозяйственных машин и орудий, обосновании режима их эксплуатации, нормировании расхода топлива и смазочных материалов, а также нормировании выработки на различных технологических операциях при выращивании сельскохозяйственных культур.

Общепринятый метод определения удельного сопротивления почвы — динамометрирование — основан на использовании различных типов динамометров, динамографов, динамометрических плугов и других приборов. Однако он имеет ряд существенных недостатков: ограниченность применения (только для прицепных машин) и сложность методики. Удельное сопротивление почвы, определенное при помощи тягового работмера, не всегда является адекватным трудоемкости обработки почвы, так как при этом не учитывается буксование трактора.

Вследствие названных причин понятен интерес к разработке непрямых методов определения удельного сопротивления почвы. В литературе (Медведев и др., 1979) известны попытки оценить удельное сопротивление по показателям компрессионных свойств почвы, ее твердости, объемной массы и влажности, трения скольжения и твердости, влажности и твердости, влажности, скорости распространения напряжений в почве, влажности и сопротивления сдвигу. Непрямые методы упрощают определение удельного сопротивления, но дают не всегда точные данные. Как показывает анализ литературных источников, математическая форма зависимости между данными, полученными прямыми и косвенными методами, в значительной степени определяется типом почвы, ее механическим составом и не является универсальной. Поэтому для оценки надежности практически в каждой почвенно-климатической зоне необходимо прибегать к сравнительным испытаниям прямых и косвенных методов.

Удельное сопротивление почвы теоретически более правильно, а практически его очень просто определить по количеству затраченной энергии на обработку почвы (Медведев и др., 1979), которое зависит от объема израсходованного топлива. Зная его расход на единицу обработанной площади, можно судить о трудоемкости обработки. Удельное сопротивление почвы при вспашке можно определить по формуле (Горячкин, 1968)

$$R_{пл} = 9,8 Gf + Kab + \epsilon ab V_p^2,$$

где $R_{пл}$ — сопротивление плуга при вспашке, Н; G — масса плуга, кг; f — коэффициент, аналогичный коэффициенту трения (для стерни $f = 0,5$); K — удельное сопротивление почвы, Н/м²; a — глубина вспашки, м; b — ширина захвата, м; ϵ — коэффициент, зависящий от формы отвала и свойств почвы, Н · с²/м⁴; V_p — рабочая скорость агрегата, м/с.

Согласно третьему закону Ньютона $R_{пл} = P_{кр}$, где $P_{кр}$ — усилие трактора на крюке, Н.

$$P_{кр} = \frac{G_T}{V_p q_T},$$

где G_T — количество топлива, расходуемое двигателем за одну секунду,

кг/с; q_T – удельный расход топлива на тяговую мощность трактора за единицу времени, кг/вт · с. Тогда

$$K = \frac{G_T}{V_p q_T ab} - \frac{9,8Gf}{ab} \quad \epsilon \sim V_p^2.$$

Если заменить тяговый удельный расход топлива на эффективный, получим

$$K = \frac{G_T \eta_{TP} (1 + \delta)}{q_e V_p ab} - \frac{9,8G'f'}{ab} - \frac{9,8Gf}{ab} - \epsilon V_p^2, \quad (1)$$

где q_e – эффективный удельный расход топлива двигателем, кг/вт · с; η – КПД трансмиссии трактора; δ – коэффициент буксования; G' – масса трактора, кг; f' – коэффициент качения трактора.

Для непашотных агрегатов удельное сопротивление почвы (K , Н/м) определяется как

$$K = \frac{G_T \eta_T (1 + \delta)}{q_e V_p b} - \frac{9,8G'f'}{b} - \frac{9,8Gf}{b}. \quad (2)$$

Секундный расход топлива и коэффициент буксования на учетном пути определяют по известной методике. В связи с тем что формулы (1) и (2) не учитывают дополнительных затрат энергии на преодоление подъемов и ее экономии на спусках, опыт необходимо проводить на участках в двух направлениях.

Эффективный расход топлива можно определить по данным характеристики двигателя – количеству оборотов и секунднему расходу. Опыт необходимо проводить при постоянной подаче топлива. Наиболее точно эффективный расход определяют после изучения зависимости между мощностью трактора и расходом топлива (порционным способом с использованием тормозных установок или путем тяговых испытаний трактора).

Для проверки предлагаемой методики удельное сопротивление орудий на культивацию определяли прямым динамометрированием по методу ВНИИ сельскохозяйственного машиностроения и по расходу топлива двигателем. Исследуемый агрегат состоял из трактора ДТ-75, культиватора КПС-4 и четырех борон БЗТС-1. Секундный расход топлива определяли при помощи расходомера, а эффективный – по экспериментальным данным изучения скоростной характеристики двигателя. При динамометрировании использовали электроконтактный динамометр ЭКД. Опыты проводили на черноземе типичном тяжелосуглинистом при абсолютной влажности 25–26%, твердости $(50-100) \cdot 10^4$ Н/м² и объемной массе 1,1–1,3 г/см³ (табл. 4).

Данные, полученные двумя методами, свидетельствуют о том, что разница в величине удельного сопротивления не превышает 1%. Затраты времени на определение показателя прямым методом составляют около 1 ч, непрямой – несколько минут на один опыт (без учета повторностей и подготовительных операций).

Предлагаемый непрямой способ оценки удельного сопротивления почвы следует рассматривать как достаточно точный экспресс-метод. Учет расхода топлива двигателем трактора дает возможность определить удельное сопро-

**Удельное сопротивление почвы
при различных способах определения, Н/м**

Глубина обработки, м	При динамометрировании	По расходу топлива
0,07	2552	2571
0,10	2852	2863
0,13	3100	3072

тивление почвы непосредственно в эксплуатационных условиях как для прицепных, так и для навесных орудий при выполнении любых операций обработки почвы. При помощи предлагаемого способа можно определить удельное сопротивление на поле, имеющем сложную конфигурацию, пере-сеченный рельеф, т.е. там, где этот показатель трудно определить даже прямым динамометрированием. Предлагаемые методы определения уплотнения почвы при воздействии на нее ходовых систем мобильных сельскохозяйственных агрегатов позволяют довольно точно и эффективно определить степень изменения этого показателя, на основании которого можно составить оптимальный агрегат (для данной почвы и выполняемой работы), позволяющий уменьшить отрицательное воздействие на почву, сократить потери урожая.

ВЛИЯНИЕ УПЛОТНЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫМИ АГРЕГАТАМИ НА СВОЙСТВА, РЕЖИМЫ ПОЧВЫ И УРОЖАЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ ПОДМОСКОВЬЯ

Проблема чрезмерного воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники особенно актуальна в зоне достаточного и повышенного увлажнения почв и сравнительно неблагоприятных их физических свойств. Уплотняющая деформация при передвижении машинно-тракторных агрегатов по полю распространяется как в вертикальном (на 35—40 см и более), так и в горизонтальном (на 35—70 см) направлениях в зависимости от напряжения под движителями тракторов. Наибольшее уплотнение отмечали непосредственно по следу тракторов. По мере удаления в поперечном направлении от следа трактора степень деформации физически спелой почвы уменьшалась на 0,04—0,06 г/см³, при этом ее плотность во всех зонах определения была значительно выше, чем на контроле.

Определение плотности дерново-подзолистой почвы непосредственно после уплотнения ходовыми системами тракторов с колесными и гусеничными движителями показало, что наибольшая деформация по следу происходила после первого прохода. Повторные проходы по этому же следу изменяли сложение почвы в меньшей степени (табл. 5).

Коэффициент относительного уплотнения почвы, т.е. отношение вели-

Таблица 5

Деформация дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в зависимости от числа проходов тракторов
(Данные Липецкого, 1982 г.)

Марка трактора	Число проходов	Плотность почвы, г/см ³				Коэффициент относительного уплотнения слоя почвы, см			
		0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40
Без уплотнения, контроль	0	1,31	1,43	1,43	1,52	1,00	1,00	1,00	1,00
	1	1,35	1,44	1,48	1,52	1,03	1,01	1,03	1,00
	2	1,40	1,44	1,48	1,56	1,07	1,01	1,03	1,03
	5	1,40	1,51	1,60	1,61	1,07	1,06	1,12	1,06
MT3-80	10	1,58	1,53	1,54	1,54	1,21	1,07	1,08	1,01
	1	1,45	1,49	1,47	1,47	1,11	1,04	1,03	-
	2	1,47	1,50	1,47	1,54	1,12	1,05	1,03	1,01
	5	1,58	1,63	1,68	1,67	1,21	1,14	1,18	1,10
T-150	10	1,61	1,65	1,62	1,68	1,23	1,15	1,13	1,10
	1	1,48	1,44	1,51	1,53	1,13	1,01	1,06	1,01
	2	1,46	1,44	1,44	1,57	1,11	1,01	1,01	1,03
	5	1,67	1,91	1,83	1,83	1,27	1,34	1,28	1,20
T-150K	10	1,90	1,95	1,98	1,80	1,45	1,36	1,38	1,18

чины плотности после деформации к ее исходному значению, после первого прохода тракторов МТЗ-80, Т-150 и Т-150К для слоя 0–10 см составил в среднем 1,09, после второго прохода – 1,10, для слоев 10–20, 20–30 и 30–40 см – 1,04–1,10. Наибольшей деформации после проходов тракторов подвергался пахотный слой почвы, особенно его верхняя часть (0–10 см).

Приращение плотности слоя 0–10 см после трех проходов тракторов ДТ-75 составило 17%, а после адекватного воздействия тракторов Т-150К и К-700 – 24%. Уплотнение затухало с глубиной, и прирост объемной массы уменьшался до 3–9% в слое 10–20 см и 1–5% в слое 20–40 см. Увеличение плотности сопровождалось снижением общей пористости, что ухудшало водно-воздушный режим. Так, в слое 0–10 см, где располагается основная масса корней растений, пористость аэрации уменьшалась в 2–4 раза и при трехкратном уплотнении трактором К-700 (701) достигала критического уровня (7%). В нижележащих слоях почвы, уплотненных движителями тракторов, увеличение плотности и снижение пористости характеризовались меньшими величинами.

Еще большую деформацию почвы вызывают многократные проходы тракторов по полю. После десяти проходов трактора Т-150К плотность дерново-подзолистой почвы в слое 0–40 см достигала 1,9 г/см³. Гусеничные тракторы (ДТ-75, Т-150) уплотняли почву меньше, чем колесные.

Чем влажнее почва, тем сильнее она уплотняется. В целом увеличение влажности суглинистой почвы на 1,5–2,0% выше физической спелости приводило при прохождении тракторов к возрастанию коэффициента относительного уплотнения пахотного слоя на 3–6%, а подпахотного – на 1–2%.

В условиях дальнейшего возрастания доли механизированных работ, резкого повышения плотности тракторов и агрегатов на 1 м захвата особое значение имеет достоверная количественная оценка действия излишнего уплотнения на эффективное плодородие почвы. Этот принципиальный вопрос современного интенсивного земледелия может быть решен только в условиях стационарных длительных полевых экспериментов с моделированием многократного уплотнения полей ходовыми системами машин и естественным процессом разуплотнения почвы.

Моделирование длительного воздействия на почву ходовых систем тракторов с целью получения достоверной количественной информации о возможных депрессиях урожайности полевых культур при систематическом уплотнении почвы движителями мобильных технических средств выполнено в 1975–1985 гг. В полевом стационарном опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве учхоза ТСХА "Михайловское" (Московская обл.) изучалось действие различного числа проходов тракторов МТЗ-80, Т-150, Т-150К и К-700 на ее уплотнение и плодородие. Сплошное укатывание физически спелой почвы (при полупластической консистенции) в один и два следа в соответствующих вариантах проводили до предпосевной (предпосадочной) обработки под яровые зерновые культуры и картофель и до основной обработки (вспашка на 20–22 см) под озимую пшеницу.

Мелкая предпосевная обработка (6–8 см) уплотненной почвы под ячмень и бобово-злаковую смесь приводила к уменьшению глыбистости поверхности поля, а более глубокая основная обработка (20–22 см) под

озимую пшеницу и предпосадочная (16–18 см) под картофель – к повышению ее. Уплотнение почвы затрудняло последующую ее предпосевную обработку и ухудшало качество посева: рабочие органы почвообрабатывающих орудий и сошники сеялки не заглублялись на заданную глубину, семена возделываемых культур заделывались неравномерно, удлинились сроки появления всходов, увеличивалась изреженность и многоярусность посевов. Густота всходов ячменя снижалась по сравнению с контролем на 7–8%, озимой пшеницы – на 9–22, картофеля – на 5–10% в зависимости от степени деформации почвы.

Приемы предпосевной обработки не устраняли повышенного уплотнения даже слоя почвы 0–10 см. В течение вегетационного периода разуплотнение 40-сантиметрового слоя почвы не происходило, и яровые зерновые на уплотненных деланках вегетировали при более плотном сложении пахотного и подпахотного слоев, чем на контрольных. Приращение уплотнения составило 5–6% (0,07–0,08 г/см³) и 1–3% (0,01–0,05) соответственно.

Деформация дерново-подзолистой суглинистой почвы ходовыми системами тракторов вызывала повышение ее твердости под полевыми культурами. Твердость зависела от числа проходов, удельного давления движителей тракторов и влажности почвы. В среднем за вегетацию ячменя, вико-овсяной смеси, картофеля и озимой пшеницы наиболее высокие показатели твердости слоев 0–10, 0–20 и 0–30 см были на деланках с двукратным уплотнением трактором К-700. По отрицательному действию ходовых систем на твердость почвы тракторы условно можно расположить в следующий ряд:

МТЗ-80 < Т-150 < Т-150К < К-700.

Передвижение тракторов по полю вызывало разрушение структуры пахотного и подпахотного слоев, что выражалось в снижении количества агрономически ценных агрегатов размером 10,0–0,25 мм и усилении распыленности почвы. В среднем за два года коэффициент структурности пахотного слоя на деланках с двукратным уплотнением составил в зависимости от марки трактора 2,6–3,1, на контрольных деланках – 3,7, а содержание пыли и агрегатов размером менее 0,25 мм в вариантах с уплотнением находилось в пределах 8,7–11,6%, без уплотнения – 8,6%. Такая же закономерность сохранилась и под бобово-злаковой смесью.

Вспышка на 20–22 см, предпосевные обработки на 8–10 см и перепашка зяби на 16–18 см не устраняли отрицательных последствий предшествующих уплотнений почвы ходовыми системами тракторов. Последствие уплотнений почвы проявлялось в ухудшении пахотного слоя (0–20 см) и накоплении остаточных деформаций в подпахотном (20–40 см) слое, большей твердости этих слоев, снижении содержания агрономически ценной структуры. Приращение плотности в слое 20–40 см после 10 дополнительных проходов в сумме за 5 лет составляло 0,05–0,13 г/см³, а в вариантах без уплотнения – 0,04 г/см³.

Последствие уплотнений под предшественники и возделываемую культуру сказывалось на твердости почвы. В среднем за вегетацию картофеля твердость слоя 0–30 см после 8-кратных в сумме за 4 года уплотнений трактором МТЗ-80 была выше контрольных показателей на 29%, трактором Т-150 – на 25, Т-150К – на 38 и трактором К-700 – на 56%.

В среднем за вегетацию озимой пшеницы по фону 14-кратного уплотнения за 7 лет она была выше в сравнении с контролем соответственно на 20, 22, 31 и 44%.

Кумулятивный эффект отмечали и в изменении структурного состояния пахотного и подпахотного слоев дерново-подзолистой почвы. На делянках с двукратным уплотнением на 4-й год после закладки опыта суммарное содержание пылеватых фракций увеличивалось на 22–50%. На делянках, где дополнительно почву не уплотняли, но применяли современную сельскохозяйственную технику, распыленность пахотного слоя возросла за 4 года лишь на 3–7%. Следовательно, при современных технологиях возделывания и уборки полевых культур процесс накопления остаточной деформации в подпахотном слое дерново-подзолистых суглинистых почв под воздействием техники идет быстрее, чем процесс разуплотнения этого слоя под влиянием природных факторов.

Уплотненная дерново-подзолистая почва при длительном отсутствии механического воздействия со временем становилась менее плотной под влиянием природных процессов разуплотнения, вызываемых периодическим набуханием коллоидов при увлажнении и увеличением объема воды при ее замерзании и т.п. Так, плотность слоев почвы 20–30 и 30–40 см за 24 месяца снижалась на 0,11–0,16 г/см³. Уплотненные в разной степени слои почвы возвращаются в равновесное состояние (разрыхляются) через разные сроки. Слой 0–10 см, уплотненный тракторами ДТ-75 или Т-150К в четыре следа, не достигал равновесного состояния даже через 24 месяца. Слои 10–20, 20–30 и 30–40 см разуплотнялись до равновесной плотности через 16 месяцев.

Важно отметить, что на контрольных делянках, где при закладке опыта почву дополнительно не уплотняли, отмечался процесс саморазуплотнения слоев 20–30 и 30–40 см. Это свидетельствует о значительном переуплотнении необрабатываемых подпахотных слоев старопашотных земель Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР (табл. 6).

Ухудшение агрофизических свойств почвы под действием прохода тракторов угнетало рост и развитие сельскохозяйственных культур; замедлялись темпы роста растений, удлинялось прохождение фаз развития, медленнее происходило накопление органической массы.

Уплотнение почвы тракторами повышало засоренность посевов полевых культур. Возрастание засоренности вызывается, видимо, разрушением твердых оболочек семян сорняков и более тесным контактом их с почвой в результате воздействия движителей тракторов. Например, весной по фону трехкратного (в сумме за 3 года) уплотнения почвы тракторами МТЗ-80 она увеличилась по сравнению с контролем на 12,4%, а тракторами Т-150 – на 23,8%, по фону шестикратного уплотнения – соответственно на 39,8 и 47,1%. Четырехкратное (за 2 года) воздействие на почвы движителей трактора К-700 повышало численность сорняков на 60,7%. Аналогичная зависимость сохранялась до уборки этой культуры.

Совместные исследования ТСХА и ВИМ по оценке влияния местного уплотнения дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при посеве агрегатами с тракторами ДТ-75М, Т-150К и К-700 на урожайность полевых культур проводили в опытном хозяйстве ВНИИ механизации "Каменка" (Московская обл.). Почву готовили под посев по общепринятой для хо-

Таблица 6

Естественное разуплотнение дерново-подзолистой
среднесуглинистой почвы, 1977–1979 гг.

Вариант опыта	Слой почвы, см	Плотность почвы, г/см ³					снижение за этот период
		после уплотнения	через 4 месяца	через 12 месяцев	через 16 месяцев	через 24 месяца	
Без уплотнения (контроль)	0–10	1,23	1,24	1,25	1,23	1,26	–
	10–20	1,39	1,34	1,36	1,34	1,34	0,05
	20–30	1,51	1,39	1,45	1,39	1,40	0,11
	30–40	1,56	1,46	1,46	1,39	1,40	0,16
Уплотнение трактором ДТ-75 в 4 следа	0–10	1,45	1,41	1,32	1,36	1,32	0,13
	10–20	1,49	1,45	1,42	1,35	1,38	0,11
	20–30	1,52	1,51	1,46	1,38	1,38	0,14
	30–40	1,57	1,52	1,45	1,38	1,46	0,11
Уплотнение трактором Т-150К в 4 следа	0–10	1,52	1,38	1,32	1,35	1,33	0,19
	10–20	1,50	1,46	1,37	1,35	1,36	0,14
	20–30	1,56	1,48	1,44	1,36	1,39	0,17
	30–40	1,59	1,55	1,46	1,40	1,42	0,17
НСР _{0,5}	–	–	–	–	–	–	0,08

Таблица 7

Недобр урожая полевых культур (% к контролю)
от деформации дерново-подзолистой
среднесуглинистой почвы посевными агрегатами

Культура, год, урожайность на контроле, ц/га	Зона учета	Тракторы		
		ДТ-75М	Т-150К	К-700
Ячмень, зерно, 1977 г. 28,8	Рядом со следом	13,2	–	25,7
	Непосредственно по следу	19,8	–	34,4
	Между следами	4,2	–	17,2
	НСР _{0,5}	14,2	–	22,9
Горохо-овсяная смесь, зеленая масса, 1978 г. 192,8	Рядом со следом	1,7	7,3	12,7
	Непосредственно по следу	3,4	–	16,0
	НСР _{0,5}	27,4	15,0	9,8
	Озимая пшеница, зерно, 1980 г. 25,8	Рядом со следом	17,5	15,6
25,8	Непосредственно по следу	16,3	38,4	39,2
	Между следами	25,2	18,3	42,3
	НСР _{0,5}	11,2	24,8	21,3

зьяств Центрального района Нечерноземной зоны технологии с использованием трактора ДТ-75М. Сев проводили агрегатом, в составе которого был соответствующий варианту трактор и сцеп из трех сеялок СЗ-3,6. Урожай учитывали по четырем зонам: на расстоянии 2 м от внешнего края следа трактора (контроль), рядом со следом, непосредственно по следу трактора и между следами. Ширина полосы сплошной уборки соответствовала ширине колеи после прохода колеса (гусеницы) трактора и составляла в вариантах с тракторами ДТ-75 380 мм, Т-150К — 530 и К-700 — 650 мм. Площадь уборки 12 м². Оставшиеся части делянок убирали комбайном за два прохода для учета общей урожайности по вариантам.

Максимальный недобор урожая ячменя отмечен непосредственно по следу трактора К-700 (9,5 ц/га). Снижение урожайности этой культуры по следу трактора Т-150К достигало 6,7 ц/га, озимой пшеницы — 7,5 и зеленой массы горохо-овсяной смеси — 40,1 ц/га. По следу трактора ДТ-75М оно составило соответственно 5,9; 4,8; 2,6 ц/га. Между следами гусеничных тракторов ДТ-75М и Т-150 урожай полевых культур снижался меньше, чем на таких же участках при проходе тракторов с колесными двигателями (Т-150К и К-700). Следует отметить, что зерновые культуры (ячмень, озимая пшеница) более чувствительны к переуплотнению почвы, чем однолетние бобово-злаковые травы (табл. 7).

По нашим данным, величина краевых зон, где отмечается снижение урожая сельскохозяйственных культур, зависит главным образом от степени уплотнения почвы непосредственно по следу трактора и рядом со следом и, вероятно, от ширины следа. При посеве агрегатом с трактором К-700 снижение урожая возделываемых культур получено на 39,0% площади ширины захвата трехсеялочного посевного агрегата, а недобор урожая ячменя, озимой пшеницы и горохо-овсяной смеси составил 22,6%; по трактору Т-150К аналогичные показатели соответственно равны 29,4 и 14,2%, а по ДТ-75М — 23,4 и 12,2%.

Полученные данные подтверждены результатами сплошной уборки с учетом урожая по зонам. По сравнению с вариантом ДТ-75М в среднем за 3 года продуктивность звена севооборота ячмень—горохо-овсяная смесь—озимая пшеница на делянках с тракторами Т-150К и К-700 была меньше на 8—12 и 18—22% соответственно.

Таким образом, в условиях Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР применение тяжелых тракторов Т-150К и К-700 даже с трехсеялочными агрегатами существенно ограничивает рост урожайности культур обычного рядового посева из-за повышенного уплотняющего воздействия двигателей машинно-тракторных агрегатов на почву. Использование же этих тракторов с большим числом сеялок в этом регионе крайне ограничено из-за мелкоконтурности полей. Лучшие результаты дает применение на севе зерновых культур гусеничного трактора ДТ-75М, двигатели которого обеспечивают существенно меньшее снижение их урожая.

При уплотнении дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы до предпосевной обработки под яровые культуры тракторами МТЗ-80, Т-150, Т-150К и К-700 в один и два следа, несмотря на ежегодную зяблевую вспашку, депрессия урожайности ячменя и вико-овсяной смеси возрастала с увеличением числа уплотнений почвы (табл. 8). Накопление остаточной деформации в подпахотном слое почвы при систематическом многократном

Влияние однократного и суммарного многократного уплотнения дерново-подзолистой почвы на урожайность яровых культур, ц/га

Год	Число лет после закладки опыта	Урожайность без уплотнения, ц/га	НСР _{0,5} , ц/га	Число дополнительных уплотнений под предшественники и культуру	Трактор			Урожай	
					МТЗ-80	Т-150	Т-150К	ц/га	%
Ячмень, зерно									
1975	1	17,8	4,5	1	17,0	16,0	16,0	16,3	91,6
				2	16,7	16,9	15,2	16,3	91,6
1977	3	37,0	9,2	3	30,2	36,1	31,4	32,6	88,1
				6	23,8	32,1	21,4	25,8	69,7
1980	6	44,5	4,5	5	43,5	30,1	40,0	37,9	85,2
				10	35,9	29,8	37,6	34,4	77,3
1982	7	34,9	1,9	7	32,2	33,7	28,2	31,4	89,9
				14	27,5	32,1	28,1	19,2	83,8
Вико-овсяная смесь, сено									
1975	1	46,0	8,3	1	37,4	36,2	45,9	39,8	86,5
				2	37,8	41,6	41,1	40,2	87,3
1981	7	37,0	3,0	6	36,9	30,2	29,0	32,0	86,5
				12	36,9	29,1	28,8	31,6	85,4

уплотнении отрицательно сказалось и на урожайности озимой пшеницы и картофеля (табл. 9).

Наши десятилетние данные стационарного полевого опыта показывают, что процесс снижения эффективного плодородия почвы под воздействием многократного уплотнения полей тракторами носит кумулятивный характер. Депрессия урожайности возрастает на уплотненных почвах из года в год. В среднем по всем маркам тракторов (МТЗ-80, Т-150, Т-150К и К-700) при 1–2-кратном уплотнении в первый год она выражалась снижением урожайности ячменя и вико-овсяной смеси на 5,1%, во второй год при 2–4-кратном суммарном за 2 года уплотнении урожая озимой пшеницы и вико-овсяной смеси уменьшались уже на 9,8%, на третий год при 3–6-кратном суммарном уплотнении урожайность ячменя и озимой пшеницы была ниже в сравнении с контролем на 12,1%, а на седьмой и восьмой годы опыта при накоплении 7–16-кратного уплотнения в подпахотном слое урожай озимой пшеницы и картофеля был ниже уже на 14–16%.

По отрицательному воздействию ходовых систем на плодородие дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и урожайность полевых культур тракторы условно можно расположить в следующем порядке: МТЗ-80 (82) < Т-150 (ДТ-75М) < Т-150К < К-700 (701).

**Последствие уплотнения дерново-подзолистой
среднесуглинистой почвы
на урожайность полевых культур, ц/га**

Марка трактора	Число проходов	Озимая пшеница				
		1976 г.	1977 г.	1981 г.	1982 г.	в среднем
Без уплотнения (контроль)	0	34,6	41,7	30,1	37,7	36,0
МТЗ-80	1	34,5	44,2	29,2	36,8	36,2
	2	34,2	41,0	24,7	32,4	33,0
Т-150	1	33,8	39,8	25,8	35,4	33,7
	2	34,0	38,9	28,6	33,8	33,8
Т-150К	1	33,2	39,6	25,8	32,8	32,8
	2	32,8	39,1	23,8	31,8	31,9
К-700	2	34,1	34,6	17,9	28,8	28,8
НСР _{0,5}	—	3,2	2,6	1,1	2,1	2,6

Марка трактора	Число проходов	Картофель				В среднем, % к контролю
		1978—1979 гг.	1983 г.	1984 г.	в среднем	
Без уплотнения (контроль)	0	150,4	282,5	158,0	197,0	100
МТЗ-80	1	162,0	279,2	144,9	195,4	99,8
	2	158,0	262,9	120,6	180,5	91,7
Т-150	1	128,6	267,7	155,6	184,0	93,5
	2	144,4	258,1	136,0	179,5	92,5
Т-150К	1	143,7	251,6	134,4	176,6	90,4
	2	164,3	247,6	121,2	177,7	89,4
К-700	2	125,9	235,3	115,2	158,8	80,4
НСР _{0,5}	—	12,4	6,3	9,0	20,8	—

ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТО-ГЛЕЕВЫЕ ПОЧВЫ ЭСТОНИИ

Согласно Р.П. Каску (1975), дерново-подзолистыми в различной степени оглеенными почвами заняты значительные площади: с учетом дерново-карбонатных почв — около 80% пашни. По гранулометрическому составу почвы Эстонии в основном можно отнести к легким и средним суглинкам. Удельное сопротивление рассматриваемых почв¹ составляет 0,03—0,05 мПа. В юго-западных районах, для которых характерны дерново-глеевые тяжелосуглинистые почвы на ленточных глинах, удельное сопротивление доходит до 0,08 мПа. В результате уплотнения удельное сопротивление этих почв может доходить до 0,1 мПа.

¹ Определения проведены при наименьшей влагоемкости, агрофон — стерня.

Для почв Эстонии характерна каменистость. По Р.П. Каску (1975) и К.Т. Кильдема (1962), очень слабокаменистые почвы составляют 13%, слабокаменистые — 32%, среднекаменистые — 13%, сильнокаменистые — 27%; очень сильнокаменистые почвы от общей территории республики составляют 15%. На северном побережье Эстонии и на островах распространены сильнокаменистые почвы, здесь 20% обрабатываемой почвы покрыто рихком (известняковый камень), при этом на 1 га поля можно встретить 1000–2000 камней диаметром более 10 см. Наименее камениста центральная и южная части республики, где на поверхности поля на 1 га встречаются до 500 камней, а в пахотном слое имеется 50–300 камней, препятствующих вспашке. В весенний предпосевной период в процессе камнеуборочных работ тракторам придется дополнительно ездить по полю.

Физические свойства основных почв республики приведены в табл. 10. Из сопоставления представленных результатов с известными в литературе данными вытекает, что по плотности сложения почва после перезимовки находилась в равновесном состоянии, которое превышает оптимальную для пропашных культур плотность. При возделывании пропашных культур эти почвы требуют неперменной глубокой обработки, а дерново-глеевые среднесуглинистые почвы — глубокого чизелевания. Для зерновых такое состояние почвы можно считать приемлемым, тем более, что последующими весенними предпосевными обработками почвы будут доведены до оптимального уплотнения.

Динамика изменения плотности показывает, что обработанная почва уже к середине лета вновь приобретает (в зависимости от осадков) равновесное или близкое к нему состояние. Дальнейшие процессы усадки почвы и разуплотнения зависят от глубины ее промерзания и степени предварительного увлажнения.

При проведении комплексных исследований по проблеме "уплотнение" учитывались четыре главных момента: 1) исследования были начаты на ранее неуплотненных почвах, т.е. многолетних сенокосах; 2) мобильные технические средства укомплектовывались по схемам, наиболее часто применяемым в практике в условиях хозяйств Эстонской ССР; 3) опыты проводились на наиболее характерных типах почв Эстонии; 4) исследования проводились как в модельном, так и в натурном исполнении.

В модельных экспериментах проблема уплотнения была рассмотрена с двух точек зрения: 1) опыты проводились в специальных минисосудах до появления в искусственных условиях гуттирующих проростков (первая ступень); 2) опыты проводились в вегетационных сосудах с выращиванием растений в естественных условиях до полного созревания (вторая ступень). В обоих модельных опытах (ступенях) использовалась одна и та же унифицированная компрессионная тензоустановка, с помощью которой задавались при соответствующих кратностях уплотнения необходимые напряжения, адекватные таковым под гусеницей трактора Т-74 с нагрузкой на гусеницу 34 кН.

В модельных опытах¹ (первая ступень) Э.А. Реппо было выявлено, что в случае карбонатного суглинка (весовая влажность $W = 22,0\%$, содержа-

¹ В соавторстве с Э.А. Реппо.

Основные физико-механические и технологические показатели почв,
характеризующие их исходное состояние в весенний, допосевной период*.
Средние данные за 1979–1981 гг.

Почва	Шифр почвенного разреза	Плотность сложения, $X \cdot 10^3$ кг/м ³	Влажность, % от массы	Наименьшая влагоемкость, % от массы	Твердость, ($K_{ТВ}$), МПа	Коэффициент внутреннего трения	Величина структурного сцепления (c), кПа	Коэффициент внешнего трения
Перегноино-глеевая связно-песчаная	Я.СЭ	$1,02 \pm 0,02$	$34,5 \pm 0,9$	$13,2 \pm 0,9$	$0,22 \pm 0,09$	$0,33 \pm 0,01$	12 ± 1	$0,18 \pm 0,03$
		$1,31 \pm 0,03$	$35,6 \pm 2,7$	—	$1,60 \pm 2,7$	$0,30 \pm 0,02$	10 ± 1	$0,15 \pm 0,02$
Дерново-подзолистая супесчаная	К.ЮЭ	$1,35 \pm 0,05$	$14,9 \pm 0,7$	$13,5 \pm 1,2$	$0,77 \pm 0,20$	$0,42 \pm 0,02$	40 ± 2	$0,34 \pm 0,04$
		$1,59 \pm 0,03$	$15,9 \pm 0,1$	—	$1,80 \pm 1,35$	$0,39 \pm 0,03$	36 ± 1	$0,32 \pm 0,03$
Дерново-карбонатная оподзоленная супесчаная	М.ЦЭ	$1,27 \pm 0,02$	$23,2 \pm 0,2$	$15,0 \pm 1,1$	$2,09 \pm 0,41$	$0,46 \pm 0,03$	37 ± 3	$0,40 \pm 0,05$
		$1,51 \pm 0,02$	$18,6 \pm 0,9$	—	$3,08 \pm 0,05$	$0,48 \pm 0,01$	39 ± 2	$0,43 \pm 0,05$
Дерново-карбонатная выщелоченная среднесуглинистая	В.СЭ	$1,33 \pm 0,04$	$20,9 \pm 0,3$	$19,0 \pm 0,6$	$0,30 \pm 0,08$	$0,47 \pm 0,02$	52 ± 3	$0,45 \pm 0,05$
		$1,37 \pm 0,10$	$19,8 \pm 2,2$	—	$1,15 \pm 0,17$	$0,48 \pm 0,02$	55 ± 1	$0,46 \pm 0,06$
Дерново-глеевая насыщенная среднесуглинистая	С.ЮЭ	$1,43 \pm 0,03$	$28,3 \pm 0,5$	$27,8 \pm 1,5$	$0,70 \pm 0,27$	$0,56 \pm 0,03$	57 ± 2	$0,49 \pm 0,03$
		$1,68 \pm 0,02$	$24,5 \pm 1,1$	—	$1,00 \pm 0,10$	$0,57 \pm 0,04$	58 ± 3	$0,50 \pm 0,04$
Поверхностно-оглеенная дерново-подзолистая супесчаная	П.ЮЭ	$1,23 \pm 0,02$	$14,1 \pm 0,5$	$14,0 \pm 1,3$	$0,40 \pm 0,10$	$0,44 \pm 0,02$	43 ± 3	$0,38 \pm 0,06$
		$1,40 \pm 0,02$	$15,9 \pm 0,1$	—	$1,70 \pm 0,10$	$0,42 \pm 0,01$	39 ± 1	$0,22 \pm 0,05$

* Числитель — пахотный слой, знаменатель — подпахотный слой.

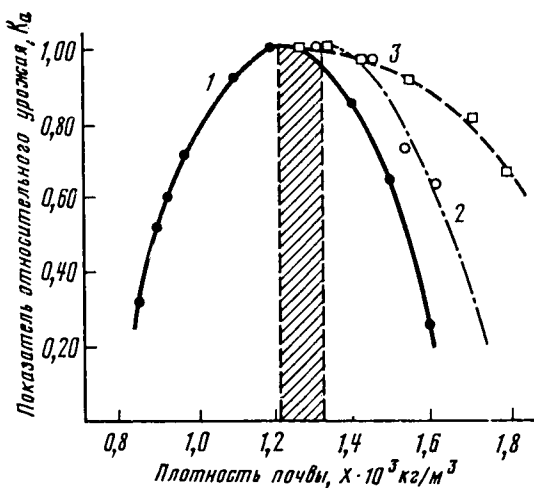


Рис. 8. Закономерности изменения относительного урожая в зависимости от плотности на примере дерново-карбонатной почвы (разрез Т.СЭ)

1 — лабораторные опыты с вегетационными миниатюрами (первая ступень); 2 — опыты с вегетационными сосудами при доведении растения в естественных условиях до урожая (вторая ступень); 3 — полевые опыты (сплошная уtramбовка участка трактором Т-150К 1, 2, 4 раза) — третья ступень.

Значению $K_a = 1$ соответствует при первой ступени $78 \pm 5,1$ мг гуттата (площадь отпечатка 250 ± 16 мм²); при второй ступени — $24,7 \pm 3,2$ г/сосуд зерна ячменя; при третьей ступени — $42,7 \pm 3,5$ ц/га ячменя сорта Мая. Зона оптимальной плотности заштрихована

ние физической глины $F_s = 19,5\%$) растения (тест-культура — ячмень сорта Отра) гуттировали наилучшим образом (отпечатки капель на фильтровальной бумаге были небольшими) в диапазоне плотности сложения почвы $(1,04-1,22) \cdot 10^3$ кг/см³. Этим плотностям соответствовали нормальные напряжения 50–180 кПа, которые возникли в почве при удельном давлении 0,06–0,19 мПа. Для дерново-подзолистой супеси ($W = 19,7\%$; $F_s = 14,3\%$) эти показатели имели значение соответственно $(1,22-1,43) \cdot 10^3$ кг/см³; 20–80 кПа; 0,03–0,15 мПа. Для дерново-глеевой насыщенной среднесуглинистой почвы ($W = 29,0\%$; $F_s = 32,1\%$) было получено соответственно $(1,09-1,21) \cdot 10^3$ кг/м³; 22–60 кПа; 0,04–0,09 мПа.

Изменение интенсивности гуттации как функции от плотности сложения почвы имеет вид параболы с выпуклостью вверх, вершина которой лежит в точке максимальной интенсивности гуттации. Корреляционные отношения в лабораторных, вегетационных и полевых опытах составили соответственно 0,92; 0,98 и 0,99.

Пример сопоставления результатов лабораторных измерений (первая ступень), вегетационных опытов (вторая ступень) и полевых опытов (третья ступень) приведен на рис. 8.

Из сравнения результатов полевых, вегетационных и лабораторных опытов с минимоделями (вегетационные миниатюры) вытекает, что чем легче по механическому составу почва, тем меньше отличия по ступеням наблюдаются в отношении установки оптимальной точки (максималь-

Эмпирические коэффициенты квадратичной зависимости*
 между показателями относительного урожая K_a
 и плотностью γ_i в основных почвах Эстонии.

Числитель – лабораторные опыты/ вегетационные опыты,
 знаменатель – полевые опыты**

Шифр почвенной разности	Значения эмпирических коэффициентов			Значения оптимальных плотностей почвы при максимальном урожае***, $x \cdot 10^3$ кг/м ³
	α	β	γ	
Т.СЭ	-5,06/-4,25	12,35/11,23	-6,53/-6,41	1,22/1,32
	-1,70	4,61	-2,14	1,36
К.ЮЭ	-3,92/-5,55	10,80/15,55	-6,46/-9,88	1,38/1,40
	-1,79	4,87	-2,31	1,42
С.ЮЭ	-6,13/-3,36	13,28/8,20	-6,14/-9,00	1,08/1,22
	-1,69	4,07	-1,44	1,20

* Наименьшее корреляционное отношение при оценке тесноты связи между параметрами K_a и γ_i равно $\eta_{K\gamma} = 0,88 \div 0,15$ ($t_\eta = 6,0 > t_{0,01} = 4,44$).

** По данным урожая (средним) за 3 года полевых опытов и опытов с вегетационными сосудами (соавтор А. Махлак), наибольшее стандартное отклонение урожая при второй ступени 5,5 г/сосуд, третьей ступени – 7,9 ц/га.

*** При приведенных оптимальных плотностях наблюдалось наибольшее выделение гуттационной жидкости с тест-культуры (первая ступень), была получена наибольшая масса зерна на один вегетационный сосуд (вторая ступень), был собран наибольший урожай зерна, ц/га (третья ступень).

ная гуттация – урожайность) плотности почвы. По мере "утяжеления" почвы оптимум плотности смещается в сторону меньших значений и проявляются большие различия между оптимальными плотностями, установленными в результате использования различных ступеней испытаний.

Отмеченные расхождения между результатами полевых, вегетационных и лабораторных экспериментов, по-видимому, объясняются адаптационной способностью растений в условиях неоднородности почвенных условий, встречающихся в особенности в полевых опытах. В вегетационных сосудах, тем более в их миниатюрах, эта неоднородность значительно меньше.

Так как зависимость относительного урожая (и гуттации) от плотности почвы при всех трех ступенях можно описать уравнением полинома второй степени вида $k_a = \alpha_\gamma \gamma^2 + \beta_\gamma \gamma + V_\gamma^2$ (табл. 11), то, зная, как соотносятся при одном и том же значении относительного урожая соответствующие показатели плотности, зафиксированные в лаборатории ($\gamma_{л}$) или в вегетационных сосудах и на поле ($\gamma_{п}$), можно по полученной зависимости установить реальные диапазоны оптимальной плотности.

В лабораторных условиях легче воспроизвести широкий диапазон изменений плотности почвы при различной степени увлажнения, нежели на поле, поэтому, зная взаимосвязь $\gamma_{п} = f(\gamma_{л})$, можно в конечном итоге во многом сэкономить трудовые и материальные средства при определении уплотняющего воздействия машин на почву.

По рис. 8 нетрудно убедиться, что между плотностями почвы $\gamma_{п}$ и $\gamma_{л}$ существует прямолинейная зависимость. Эта зависимость имеет вид $\gamma_{п} = a_{\rho} \gamma_{л} - \beta_{\rho}$.

Метод вегетационных миниатюр (по Э. Реппо, основоположнику метода гуттации проростков растений) несравненно более экономичен и оперативен (за неделю возможно получить уже всю информацию), поэтому сопоставление было проведено между этой ступенью (лабораторной) и третьей (полевой).

На основе анализа данных для трех различных типов почв можно сделать вывод, что по мере "утяжеления" почвы тангенс угла наклона прямой при описании функции $\gamma_{п} = f(\gamma_{л})$ увеличивается. Это является подтверждением вышеописанных соотношений между рассматриваемыми плотностями и степенями определения функции $K_a = f(\gamma_i)$.

При проведении лабораторных опытов (первая ступень) увлажнение почв было доведено до НВ. При этом нас интересовал также вопрос: как при различных плотностях почвы гуттирующие растения реагируют на изменения влажности? Опыты были проведены на дерново-подзолистой супесчаной почве, второй по степени распространенности в Эстонии и наиболее чувствительной к уплотнению. Влажность почвы была изменена ступенчато — в диапазоне 0,9–1,5 НВ. При этом следует заметить, что карбонатные почвы обладают большей устойчивостью к уплотнению и даже при повышенных (в естественных условиях) внешних нагрузках при наличии рихтовых включений меньше переуплотняются.

Опыты показали (рис. 9), что с уменьшением влажности дерново-слабо-подзолистой супесчаной почвы интенсивность гуттации уменьшается более резко в области малых плотностей сложения (левая ветвь). В области больших плотностей сложения (правая ветвь) влажность почвы мало влияет на изменения гуттации. На основе этого можно сделать вывод, что в почве в рассматриваемом диапазоне увлажнения, независимо от его конкретных уровней, фактор уплотнения через реакцию растения нивелирует различия этих уровней. Если сравнить с картиной сжимаемости почвы (рис. 10), то эти различия будут весьма заметными. Отсюда вытекает весьма принципиальное следствие: используя только методы изучения механики почв, можно при установлении уровня отрицательного уплотняющего воздействия на почву сделать ошибочные выводы. Ввод в рассматриваемую механическую систему движитель—почва биологического элемента (гуттирующая тест-культура) позволяет получить адекватную картину почвенных процессов, протекающих в результате уплотняющего почву воздействия движителей мобильных технических средств.

При проведении полевых исследований и при моделировании уплотнения (третья ступень) была поставлена цель выяснить, как различные яровые сорта зерновых культур отзываются на уплотнение почвы. Опыты были проведены в соавторстве с А. Махлак на двух типах почв: перегнойно-глеевой связнопесчаной (цифр Я.СЭ) и дерново-карбонатной среднемошной типичной легкосуглинистой. Исследованные сорта ячменя — Мая, Домен, Винг, Отра; яровой пшеницы — Ленинградка и Пиккер; овса — Кондор и Хямарик.

Подготовка почв выполнялась традиционными методами с внесением под яблечную вспашку суперфосфата и калийной соли при норме $P_{120}K_{120}$

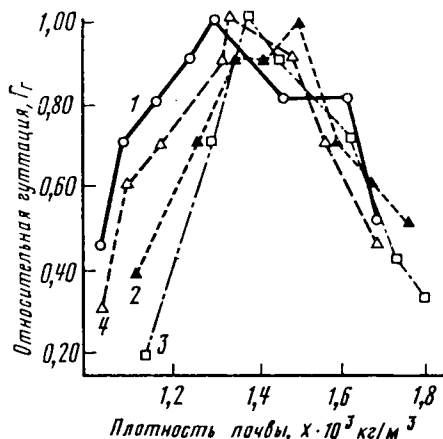


Рис. 9. Изменение относительной гуттации в зависимости от плотности почвы при различном уровне ее увлажнения (почва К.ЮЭ)

1 - $W_1 = 19,7\%$ от массы сухой почвы; 2 - $W_2 = 15,2\%$; 3 - $W_3 = 12,1\%$; 4 - $W_4 = 16,7\%$ (наименьшее значение корреляционного отношения $\eta\kappa\gamma = 0,96 \pm 0,11$ при критерии существенности $t\eta = 9,0 > t_{0,001} = 5,96$)

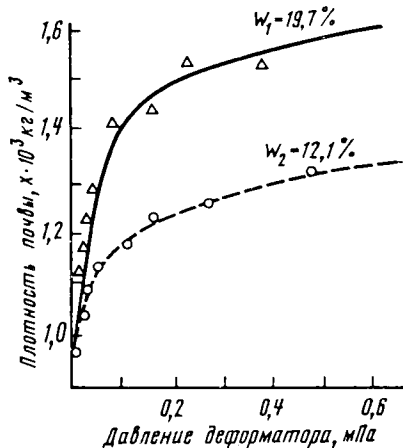


Рис. 10. Изменение плотности почвы при различной влажности в зависимости от давления деформатора (на примере почвы К.ЮЭ). Наибольшая предельная ошибка по плотности $\pm 0,11 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, по давлению - $\pm 0,06 \text{ МПа}$

и весной под предпосевную культивацию - нитрата аммония при норме N_{120} . Уплотнение почв было проведено методом сплошной утрямбовки весной до предпосевной культивации трактором Т-150К, сбалластированным навесным широкозахватным культиватором ККС-8 (масса 1,5 т), один раз, два раза и четыре раза. Максимальная нагрузка на ось трактора 4,5 т, максимальное сжимающее напряжение в почве на глубине 10 см (определялось измерительным устройством АФИ) равнялось $180 \pm 40 \text{ кПа}$.

Изменение характерных показателей физического состояния почвы (плотность и влажность) в результате четырехкратного уплотняющего воздействия данного тракторного агрегата приведено в табл. 12. Следует при этом отметить, что между контрольным вариантом и однократным воздействием трактора в плотности почвы существенных различий не наблюдалось. После двукратного прохода плотность почвы в слое 0-20 см увеличилась у перегнойно-глеевой почвы на $0,17 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, а у дерново-карбонатной почвы - на $0,10 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Последняя находится почти на границе достоверности разности выборочных средних между плотностью на контроле и варианте с двукратным воздействием. По приведенным в табл. 12 значениям плотности видно, что увеличение плотности на дерново-карбонатной почве глубже пахотного слоя уже недостоверно. У перегнойно-глеевой почвы достоверное увеличение плотности наблюдается до глубины 30 см.

Более ощутимые изменения при уплотнении претерпевает структурность почвы. Последняя была определена на утрямбованных участках после обработки культиватором КПС-4 в агрегате с трактором МТЗ-82. Культиваци-

Изменение плотности и влажности почв, в % от массы, до и после уплотняющего воздействия ($n = 7$)

Глубина, см	Перегноино-глеевая связно-песчаная почва				Дерново-карбонатная среднесиловая типичная легкосуглинистая			
	Контрольный вариант (без уплотнения)		После 4-кратного прохода трактора		Контрольный вариант (без уплотнения)		После 4-кратного прохода трактора	
	W	γ	W	γ	W	γ	W	γ
0-10	32,2	0,95	32,1	1,24	23,9	1,33	24,2	1,54
10-20	36,9	1,06	32,7	1,27	23,2	1,46	21,4	1,59
20-30	32,7	1,24	32,5	1,37	19,8	1,58	20,6	1,65
30-40	26,6	1,39	24,3	1,48	16,5	1,64	17,9	1,69
40-50	16,3	1,58	15,1	1,62	15,3	1,70	15,5	1,72

Примечание. W — влажность почвы (наибольшая ошибка средней $\pm 0,7\%$); γ — плотность почвы $\times 10^3$ кг/см³ (наибольшая ошибка средней $\pm 0,04 \cdot 10^3$ кг/м³).

ция была выполнена в четыре следа по диагонали. Сухое просеивание почвенных проб было проведено после ее высушивания до воздушно-сухого состояния. В обеих исследованных почвах чрезмерное уплотнение ухудшает структурное состояние, в особенности на более тяжелой почве. С увеличением кратности воздействия содержание глыбистой фракции в поверхностных слоях дерново-карбонатной почвы увеличивается. Можно полагать, что это будет препятствовать равномерному попаданию семян зерновых в почву и последующему развитию растений.

Глыбистость поверхности поля определялась методом наложения рамок с помощью проволочной сетки 5×5 см и фотографирования. После этого были планиметрированы на фотографии контуры глыб диаметром более 5 см. Показатель глыбистости по всем вариантам уплотнения на дерново-карбонатной почве составил: на контроле (без уплотнения) — 10,2%; 1 раз уплотнено — 10,4%, 2 раза — 11,2% и 4 раза — 14,4%. Определение проводилось с помощью квадратной сетки 1×1 м.

Уплотнение повлияло более всего на элементы структуры урожая, и в особенности на количество проростков на 1 м^2 (табл. 13). При четырехкратном уплотнении (четыре площади по 10 м^2) растения взошли с опозданием на 2 дня по сравнению с контролем. Фаза образования второго листа наступила тогда, когда на контроле растения имели уже 4 листа. В фазе кушения на этом варианте было на 0,6 ростка на 1 м^2 меньше, чем на контроле. Таким образом, уплотнение повлияло на формирование урожая уже с самого начала роста растений.

Из рассмотренных трех видов и восьми сортов зерновых наиболее чувствительным к переуплотнению почвы оказался овес сорта Хямарик, на втором месте — ячмень сорта Винг и на третьем — ячмень сорта Мая (табл. 14).

Аналогичные опыты, проведенные с сортом картофеля Сулев на трех различных типах почв — дерново-слабоподзолистой супесчаной, дерново-

Влияние проходов трактора Т-150К с культиватором ККС-8Г на структуру урожая ячменя Мая (по А. Махлак)

Показатель	Контроль (не уплотнено)	2 прохода	4 прохода
Всхожесть, %	100	85	68
Количество проростков на 1 м ² , шт	788	512	412
Длина основного проростка, см	78,4	84,4	64,9
Масса 1000 зерен, г	34,7	36,2	34,1
Отношение зерновой массы к массе всей биопродукции, %	38,1	36,1	37,5
Урожай зерна (14% влажности), ц/га	36,1	31,9	32,1
Средний урожай за 3 года	41,1	38,0	33,5

Таблица 14

Влияние уплотнения на урожайность яровых зерновых (при 14% влажности), ц/га

Сорт яровых зерновых	Перегноино-глеевая связнопесчаная почва		Дерново-карбонатная среднесуглинистая почва	
	контроль (не уплотнено)	4-кратное уплотнение	контроль (не уплотнено)	4-кратное уплотнение
Ячмень				
Мая	38,1	32,4	44,8	36,7
Домен	39,1	36,7	45,4	36,3
Винг	40,7	37,9	45,2	33,5
Отра	37,9	32,6	36,2	29,7
Пшеница				
Ленинградка	28,9	25,3	36,3	30,1
Пиккер	28,8	22,3	32,6	27,4
Овес				
Хямарик	24,6	18,9	29,1	18,3
Кондор	27,9	25,0	28,8	22,2

карбонатной оподзоленной легкосуглинистой, дерново-глеевой оподзоленной среднесуглинистой — показали, что из-за увеличения плотности почвы в результате четырехкратного уплотнения трактором МТЗ-82 + культиватор КРГ-3,6 в транспортном положении и последующих междурядных обработок существенно снижается урожайность клубней картофеля (табл. 15). При этом чем благоприятнее почвенные условия для возделывания

Влияние уплотнения на плотность почвенного слоя
0—10 см и на урожайность клубней картофеля

Почва	Плотность сложения, $x \cdot 10^3$ кг/м ³		Урожайность, ц/га	
	до уплотнения	после уплотнения	на неуплотненном контроле	на уплотненной делянке
Дерново-подзолистая супесчаная	1,15	1,37	248	185
Дерново-карбонатная легкосуглинистая	1,16	1,29	209	199
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	1,19	1,35	137	107
НСР _{0,5}	0,06		33	

вания данной культуры на контрольном варианте, тем больше снижение урожая при уплотнении почвы.

Результаты профилирования поперечных сечений борозд и дополнительные замеры глубины рыхления показали, что уплотнение поверхности поля сильно уменьшает геометрические размеры картофельных борозд, а вместе с тем и их объем. На среднесуглинистых уплотненных почвах суммарный объем картофельных борозд составлял 619 м³/га против 1535 м³/га при повторной после уплотнения пахоте и рыхлении дна борозды.

Микробиологические анализы, проведенные на дерново-карбонатной среднесуглинистой типичной легкосуглинистой почве, показали (данные В.Р. Ластинг и Р.Р. Саранд), что численность микроорганизмов различных групп (табл. 16), развивающихся на уплотненных почвах, доходит до оптимума с запаздыванием по сравнению с контролем не более чем на две недели. Естественным следствием уплотнения является торможение развития аэробных бактерий.

Следует при этом учитывать, что в переуплотненной почве численность бактерий может быть достаточной, однако развиваются они значительно хуже. Это особенно касается нитрифицирующих бактерий и различных видов микроскопических грибов.

В настоящее время одной из серьезных проблем является рациональное и экономичное использование химических удобрений. Замечено, что из-за уплотнения внесенные удобрения остаются в почве в неусвояемой форме. Поэтому уместно говорить, что "машины съедают удобрения". В связи с этим совместно с Х.А. Кярблане мы попытались выяснить, в каком количестве удобрения остаются из-за уплотнения неусвоенными растениями. В качестве индикатора был использован радиоактивный изотоп фосфора ³²P. Опыты проводились на двух типах почв: дерново-подзолистой супесчаной и дерново-глеевой среднесуглинистой. В вегетационные сосуды до уплотнения был введен меченый суперфосфат в виде раст-

Влияние четырехкратного уплотнения почвы трактором Т-150К
на численность микроорганизмов в 1 г сухой почвы
Данные В.Р. Ластинг и Р.Р. Саранд

Группы микроорганизмов	0—10 см			
	Контроль		Уплотнение	
	5.V	1.VI	5.V	1.VI
Бактерии на мясо-пептонном агаре	28400	39200	23000	48000
Бактерии на крахмало-аммиачном агаре	21600	16500	18000	24500
Нитрифицирующие бактерии	51,6	173	55,4	144
Денитрифицирующие бактерии	536	531	288	527
Целлюлозоразлагающие бактерии	4,72	10,6	51,8	23,4
Анаэробные азотфиксирующие бактерии	298	4,72	51,8	10,5
Десульфирующие бактерии	0,048	0,531	0,518	0,293

Группы микроорганизмов	10—20 см			
	Контроль		Уплотнение	
	5.V	1.VI	5.V	1.VI
Бактерии на мясо-пептонном агаре	27400	40800	19600	44400
Бактерии на крахмало-аммиачном агаре	18100	20700	11400	23800
Нитрифицирующие бактерии	79,9	112	84,2	85,6
Денитрифицирующие бактерии	303	545	177	177
Целлюлозоразлагающие бактерии	4,84	54,5	4,72	88,5
Анаэробные азотфиксирующие бактерии	18,2	10,9	10,6	8,26
Десульфирующие бактерии	0,908	0,303	0,767	0,293

вора. В сосудах выращивался однолетний райграсс сорта Йыгева-30. По радиоактивности поверхности определялась интенсивность усвояемости растениями удобрений (табл. 17).

Основываясь на результатах опытов по определению усвояемости растениями фосфора, а также калия и азота, можно заключить, что в условиях ЭССР колесами энергонасыщенных тракторов "съедается" около 5% вносимого в почву удобрения.

Экспериментальными лабораторно-полевыми исследованиями в течение

Влияние уплотнения на урожайность однолетнего райграсса и усвояемость им фосфора (по Х.А. Кярблане)

Шифр почвы	Вариант опыта	Сухое вещество, г/сосуд		Усвоено, % от внесенного фосфора		
		I сбор	II сбор	I сбор	II сбор	всего
К.ЮЭ	Контроль (без уплотнения)	10,0	12,8	9,2	10,2	19,4
	Двукратное уплотнение	12,8	7,7	9,3	7,0	16,3
	Четырехкратное уплотнение	12,2	10,6	9,7	8,8	18,5
	НСР _{0,1}	2,1	2,8	—	—	—
С.ЮЭ	Контроль (без уплотнения)	4,7	10,9	4,3	13,0	17,3
	Двукратное уплотнение	14,0	6,1	12,0	6,0	18,0
	Четырехкратное уплотнение	10,7	7,3	10,9	4,6	15,5
	НСР _{0,1}	3,2	3,3	—	—	—

12 лет установлено, что в наибольшей степени уплотняются дерново-глеявая и подзолистая среднесуглинистая почвы. Самым опасным в этом отношении для дерново-глеявых и подзолистых почв (без учета проходимости мобильного средства) следует считать диапазон влажности 18—25%.

Уплотненная прослойка (подошва) почвы, возникая под воздействием ходовой системы МТА, располагается на глубине 30—50 см. Одной из эффективных мер уменьшения вредного влияния уплотнения является рыхление различными рыхлителями (чизели, рыхлители для борозды). В связи с этим в ЭстНИИЗМ была разработана конструкция чизельных рабочих органов к культиваторам и рыхлителя дна борозды к плугам для каменистых почв, предназначенных для выполнения как обычной вспашки, так и агроmeliоративной и meliorативной обработок. Расчеты, основанные на результатах агротехнологических исследований, показали, что при использовании глубокорыхлителя экономический эффект составляет 41,7 руб/га, а рыхлителей для борозды — 6,3 руб/га. При использовании агрофильных ходовых систем может быть получен эффект в 41,5 руб/га, т.е. фактически такой же, как от глубокорыхлителей.

ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ БЕЛОРУССИИ

Пашня Белоруссии представлена главным образом дерново-подзолистыми супесчаными и суглинистыми почвами. Поскольку супесчаные почвы в силу геометрического расположения почвенных частиц уплотняются под воздействием техники очень слабо, проблема переуплотнения касается лишь суглинистых почв. Поэтому изучение влияния уплотнения почв трак-

Относительная активность листовой поверхности растения

25.VI	9.VII	18.VII	31.VII	6.VIII	16.VIII	23.VIII
100	100	100	100	100	100	100
127	178	110	97	95	89	84
128	197	120	95	96	86	85
—	—	—	—	—	—	—
100	100	100	100	100	100	100
376	127	100	93	89	87	68
147	118	111	62	86	67	53
—	—	—	—	—	—	—

торами на плодородие и урожай проводилось в БССР лишь на суглинистых почвах.

Пионером в изучении уплотняющего воздействия техники на почву в Белоруссии является А.М. Кононов (1974). Его исследования проводились в Могилевской области на легкосуглинистых почвах в 1963–1974 гг. Результаты исследований при "местном" уплотнении приводятся в табл. 18. Как видно из данных таблицы, по воздействию на почву тракторы МТЗ-50 и ДТ-75 не различаются. Они ухудшают физическое состояние почвы, но не так сильно, как трактор К-700.

В табл. 19 приведены данные по влиянию уплотнения почвы на урожай. Эти данные характеризуют степень вредности возрастающих давлений на урожай, однако они свидетельствуют о пользе уплотнения катком с давлением 0,10 мПа.

В работе А.П. Подолько (1978) было рассмотрено изменение свойств дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы под влиянием многократных проходов тракторов ("сплошное" укатывание) — (табл. 20).

Установлено, что плотность почвы возрастает с каждым последующим проходом трактора. В наибольшей степени уплотняется верхняя часть пахотного слоя. Равновесное состояние почвы после уплотнения ее тракторами не восстанавливается в течение вегетационного периода. Воздействие колес тракторов существенно снижает водопроницаемость и влагоемкость почвы, ухудшая ее водный режим. Уменьшается скважность почвы, масса корней, снижается биологическая активность почвы. В конечном счете уменьшается урожай сельскохозяйственных культур. Трактор МТЗ-80 уплотняет почву сильнее, чем трактор Т-74.

Влияние уплотняющего воздействия движителей сельскохозяйственных тракторов на суглинистую почву, слой 0–10 см (данные А.М. Кононова)

Тип трактора	Плотность почвы, г/см ³	Сквозность, см ³			Степень аэрации, %
		общая	капиллярная	некапиллярная	
Контроль	1,07	57,6	39,2	18,4	61,0
МТЗ-50	1,40	45,4	42,2	3,3	41,0
ДТ-75	1,39	45,7	40,4	5,4	39,4
К-700	1,45	43,1	41,1	2,4	35,9

Таблица 19

Влияние уплотняющего воздействия при однократной укатке водоналивным катком на урожайность сельскохозяйственных культур на суглинистой почве (по Кононову, 1974)

Давление катка, мПа	Урожайность, %		Давление катка, мПа	Урожайность, %	
	Яровой ячмень	Яровая пшеница		Яровой ячмень	Яровая пшеница
Контроль (0)	100	100	0,25	90	83
0,10	102	112	0,35	64,8	68
0,15	95	89			

К сожалению, в цитированных выше работах нет абсолютных величин урожая. Это делает невозможной оценку вреда, причиняемого тем или иным трактором, так как нет математической обработки урожая и не известна наименьшая существенная разница. Например, однократное уплотнение трактором Т-74 снижает урожай ячменя на 1%, а трактором МТЗ-80 – на 3%. Существенна ли эта разница или она не превышает точности опыта? Ответа на этот вопрос нет.

В 1982–1984 гг. авторы изучали изменение агрофизических свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы под влиянием уплотнения ее тракторами МТЗ-80, ДТ-75, Т-150 К, К-700, К-700 А. Варианты опыта следующие: контроль (без уплотнения), одно-, трех- и пятикратное уплотнение. Повторность опыта четырехкратная, площадь учетной делянки 80 м². Изучалось "сплошное" и "местное" уплотнение в полном соответствии с методикой Почвенного института им. В.В. Докучаева.

По данным механического состава, в пахотном слое доминирует крупная пыль. По содержанию глинистой фракции почва на грани супеси и суглинка, но из-за большого содержания пыли ее следует отнести к легкосуглинистой.

В табл. 21 содержатся данные по водно-физическим свойствам изучаемой почвы. Высокая полевая влагемкость указывает на суглинистый мехсостав, высокая плотность пахотного и особенно подпахотного слоев

Влияние воздействия движителей тракторов
на дерново-подзолистую среднесуглинистую почву
и ее плодородие (по Подолько, 1978)

Тип трактора	Кратность уплотнения	Плотность почвы, г/см ³				Общая скважность, %		
		0-10 см	10-20 см	0-20 см	20-30 см	0-10 см	10-20 см	0-20 см
Контроль	0	1,06	1,26	1,16	1,39	49,7	48,5	49,1
Т-74	1	1,19	1,43	1,31	1,44	49,9	44,2	47,0
	2	-	-	-	-	48,7	42,2	45,5
	3	1,32	1,56	1,44	1,59	47,9	41,7	44,8
	4	1,38	1,58	1,48	1,62	46,5	41,0	43,7
	5	1,43	1,61	1,52	1,65	45,1	40,0	42,5
МТЗ-80	1	1,28	1,46	1,37	1,48	49,5	44,7	47,1
	2	-	-	-	-	47,8	42,1	44,9
	3	1,43	1,55	1,49	1,62	45,9	40,9	43,4
	4	1,45	1,58	1,52	1,65	44,4	38,3	41,3
	5	1,46	1,64	1,55	1,69	43,2	36,8	39,9

Тип трактора	Кратность уплотнения	Водопроницаемость		Влагоемкость почвы, %	Биологическая активность, %	Урожай ячменя, %	Масса корней ячменя	
		см/ч	%				г/м ²	%
Контроль	0	9,0	100	35,2	100	100	143,9	100
Т-74	1	8,7	96,6	34,9	96,0	99,0	-	-
	2	7,1	79,0	33,6	90,5	98,0	140,5	98,0
	3	6,9	76,3	31,9	83,0	96,0	136,8	95,0
	4	6,5	72,1	28,9	81,0	92,0	115,9	80,5
	5	5,9	65,5	27,3	69,8	91,0	102,9	71,5
МТЗ-80	1	8,4	93,4	34,5	92,5	97,0	137,8	95,8
	2	6,8	75,5	32,4	87,0	93,5	116,7	81,1
	3	6,6	73,2	31,4	79,4	91,0	107,5	74,7
	4	5,8	64,5	28,4	67,6	86,6	100,3	69,7
	5	4,9	54,5	26,3	62,2	85,0	97,8	68,0

Таблица 21

Водно-физические свойства дерново-подзолистой
легкосуглинистой почвы, подстилаемой моренным суглинком

Горизонт	Глубина, см	Плотность, г/см ³		Полевая влагоемкость, %	Общая порозность, %	МГ, %	Удельная порозность, м ² /г
		твердой фазы	почвы				
A _п	0-20	2,60	1,39	25,3	42,2	2,64	36,14
A ₁ A ₂	20-31	2,63	1,63	20,5	38,0	2,47	32,34
A ₂ B ₁	31-53	2,67	1,73	16,8	35,2	1,57	16,80
B ₂	53-85	2,69	1,87	15,5	30,5	2,79	29,81
C	85	2,73	1,96	11,9	28,2	3,22	32,14

свидетельствует о неблагоприятных физических условиях роста растений.

Пахотный слой почвы имеет слабокислую реакцию почвенного раствора, высокое содержание легкоподвижных форм фосфора и калия. Имеющиеся запасы питательных веществ достаточны для развития сельскохозяйственных культур, и недобор урожая зависит только от физических свойств, которые резко ухудшаются в почве под колесами тракторов.

Изменение водно-физических свойств почвы под влиянием тракторов

В первый год исследований (1982) уплотнение почвы, вспаханной осенью, производили при влажности 26,8%, что составило около 100% НВ. Изучение изменения плотности под воздействием проходов тракторов (табл. 22) свидетельствует о том, что тракторы ДТ-75, Т-150К, К-700 увеличили плотность пахотного горизонта. Однократные проходы тракторов увеличили плотность на 0,09–0,10 г/см³ при местном уплотнении (табл. 23) и на 0,11–0,12 г/см³ при сплошном уплотнении (табл. 22). С увеличением кратности проходов степень уплотнения возрастала, и уже после пяти проходов тракторов по одному следу плотность в зависимости от типа трактора достигала 1,46–1,50 г/см³ при сплошном уплотнении и 1,43–1,48 г/см³ при местном. Результаты определения плотности в течение вегетационного периода овса показывают, что разуплотнения пахотного горизонта к концу вегетации не произошло, напротив, наблюдается увеличение его плотности по вариантам уплотнения, что, по-видимому, можно объяснить усадкой почвы при уменьшении влажности (влажность в начале вегетации составляла 25%, а в конце – 16%).

В 1983 г. уплотнение вспаханной весной почвы производили при влажности пахотного горизонта 19,9%, что составляет приблизительно 80% НВ. Анализ изменения плотности в пахотном горизонте показал, что увеличение последней от однократного сплошного уплотнения тяжелыми тракторами Т-150К и К-700 составило 0,23–0,25 г/см³, 3-кратного – 0,28–0,29 г/см³, 5-кратного – 0,30–0,31 г/см³. Подобные результаты наблюдались и при местном уплотнении. Уплотнение более легкими тракторами, ДТ-75 и МТЗ-80, привело к меньшему увеличению плотности почвы, чем тяжелыми. Так, однократные проходы этих тракторов увеличили плотность на 0,08, 0,18 г/см³, трехкратные – на 0,19, 0,20 г/см³, пятикратные – на 0,23 г/см³ соответственно (табл. 24).

Уплотнение почвы в 1984 г. производилось при влажности пахотного горизонта 20,7%. Увеличение плотности от проходов тракторов составило при однократном воздействии Т-150К, К-700А, ДТ-75, МТЗ-80 0,07–0,08 г/см³, при трехкратном воздействии Т-150К, К-700А – 0,14–0,17 г/см³, а тракторов ДТ-75 и МТЗ-80 – 0,10 г/см³. Пятикратное уплотнение тракторами Т-150К и К-700А увеличило плотность пахотного горизонта на 0,17–0,18 г/см³, тракторами ДТ-75 и МТЗ-80 – на 0,13–0,14 г/см³ (табл. 25).

С изменением плотности почвы изменяется общая порозность и особенно значительно – порозность аэрации, которая на вариантах уплотнения достигала критической величины 6–9% (табл. 26).

Динамика плотности почвы, г/см³, под овсом. 1982 г.
Сплошное уплотнение

Тип трактора	Глубина, см	Кратность уплотнения											
		0			1			3			5		
		май	июль	август	май	июль	август	май	июль	август	май	июль	август
Т-150К	0-10	1,26	1,29	1,33	1,44	1,47	1,53	1,49	1,54	1,55	1,51	1,55	1,54
	10-20	1,35	1,33	1,39	1,41	1,42	1,50	1,47	1,44	1,52	1,49	1,45	1,52
	0-20	1,30	1,31	1,36	1,42	1,44	1,51	1,48	1,49	1,53	1,50	1,50	1,53
	20-30	1,45	1,55	1,62	1,57	1,60	1,63	1,58	1,56	1,52	1,52	1,56	1,51
	30-40	1,57	1,72	1,64	1,65	1,61	1,73	1,63	1,65	1,62	1,54	1,61	1,69
	40-50	1,64	1,74	1,74	1,70	1,62	1,75	1,70	1,62	1,67	1,67	1,72	1,56
К-700	0-10	1,26	1,29	1,33	1,42	1,46	1,47	1,46	1,46	1,48	1,49	1,47	1,53
	10-20	1,35	1,33	1,39	1,41	1,40	1,45	1,44	1,41	1,48	1,46	1,45	1,51
	0-20	1,30	1,31	1,36	1,41	1,43	1,46	1,45	1,43	1,48	1,47	1,46	1,52
	20-30	1,48	1,55	1,62	1,51	1,53	1,47	1,54	1,42	1,63	1,49	1,60	1,62
	30-40	1,58	1,72	1,64	1,55	1,53	1,55	1,58	1,56	1,83	1,63	1,62	1,69
	40-50	1,68	1,74	1,74	1,65	1,66	1,59	1,61	1,73	1,88	1,72	1,67	1,81
ДТ-75	0-10	1,26	1,29	1,33	1,44	1,38	1,38	1,44	1,41	1,46	1,45	1,47	1,50
	10-20	1,35	1,33	1,39	1,39	1,36	1,37	1,41	1,37	1,42	1,43	1,42	1,44
	0-20	1,30	1,31	1,36	1,41	1,37	1,37	1,42	1,39	1,44	1,44	1,44	1,47
	20-30	1,51	1,55	1,62	1,48	1,56	1,52	1,49	1,54	1,54	1,47	1,62	1,60
	30-40	1,60	1,72	1,64	1,55	1,64	1,53	1,61	1,64	1,55	1,61	1,71	1,65
	40-50	1,65	1,74	1,74	1,64	1,82	1,61	1,69	1,76	1,59	1,74	1,83	1,70

НСР_{0,5} (для слоя 0-20 см) 0,04 г/см³.

Динамика плотности почвы под овсом. 1982 г.
Местное уплотнение

Тип трактора	Глубина, см	Кратность уплотнения											
		0			1			3			5		
		май	июнь	июль	май	июнь	июль	май	июнь	июль	май	июнь	июль
Т-150К	0-10	1,26	1,29	1,33	1,40	1,36	1,42	1,42	1,40	1,46	1,47	1,42	1,51
	10-20	1,35	1,33	1,39	1,39	1,32	1,41	1,40	1,36	1,44	1,48	1,41	1,48
	0-20	1,30	1,31	1,36	1,39	1,34	1,41	1,41	1,38	1,45	1,47	1,41	1,49
	20-30	1,53	1,50	1,53	1,53	1,40	1,61	1,46	1,50	1,69	1,46	1,40	1,51
	30-40	1,63	1,49	1,51	1,63	1,54	1,62	1,57	1,52	1,67	1,58	1,47	1,67
	40-50	1,69	1,62	1,70	1,69	1,76	1,63	1,60	1,62	1,69	1,70	1,62	1,69
К-700	0-10	1,26	1,29	1,33	1,41	1,35	1,40	1,48	1,47	1,46	1,49	1,49	1,50
	10-20	1,35	1,33	1,39	1,40	1,32	1,39	1,45	1,43	1,45	1,48	1,45	1,48
	0-20	1,30	1,31	1,36	1,40	1,33	1,39	1,46	1,45	1,45	1,48	1,47	1,49
	20-30	1,63	1,50	1,53	1,56	1,37	1,59	1,60	1,49	1,57	1,52	1,45	1,56
	30-40	1,64	1,49	1,51	1,62	1,50	1,61	1,75	1,64	1,63	1,66	1,47	1,60
	40-50	1,69	1,62	1,70	1,66	1,53	1,76	1,83	1,64	1,49	1,74	1,46	1,77
ДТ-75	0-10	1,26	1,29	1,33	1,44	1,35	1,44	1,43	1,43	1,47	1,45	-	1,49
	10-20	1,35	1,33	1,39	1,35	1,33	1,42	1,42	1,40	1,44	1,44	-	-
	0-20	1,30	1,31	1,36	1,39	1,34	1,43	1,42	1,41	1,45	1,44	-	-
	20-30	1,56	1,50	1,53	1,49	1,61	1,64	1,46	1,55	1,48	1,48	1,48	1,78
	30-40	1,57	1,49	1,51	1,65	1,66	1,63	1,64	1,59	1,62	1,57	1,48	1,80
	40-50	1,67	1,62	1,70	1,80	1,81	1,73	1,53	1,57	1,70	1,68	1,46	1,80

НСР_{0,5} (для слоя 0-20 см) 0,03 г/см³.

Динамика плотности почвы под смесью гороха с кукурузой. 1983 г.

Тип трактора	Глубина, см	Кратность уплотнения															
		0		1		3		5		0		1		3		5	
		май	июнь	май	июнь	май	июнь	май	июнь	май	июнь	май	июнь	май	июнь	май	июнь
		Сплошное уплотнение								Местное уплотнение							
Т-150К	0-10	1,11	1,21	1,45	1,30	1,49	1,44	1,51	1,52	1,11	1,21	1,39	1,33	1,47	1,37	1,52	1,47
	10-20	1,26	1,33	1,37	1,44	1,45	1,49	1,46	1,54	1,26	1,33	1,40	1,40	1,48	1,41	1,51	1,48
	0-20	1,18	1,27	1,41	1,37	1,47	1,46	1,48	1,53	1,18	1,27	1,39	1,36	1,47	1,39	1,51	1,47
К-700	0-10	1,14	1,19	1,45	1,33	1,48	1,39	1,53	1,42	1,15	1,18	1,45	1,39	1,48	1,41	1,52	1,48
	10-20	1,26	1,28	1,46	1,38	1,48	1,46	1,49	1,52	1,21	1,28	1,42	1,40	1,48	1,41	1,51	1,45
	0-20	1,20	1,24	1,45	1,35	1,48	1,42	1,51	1,47	1,18	1,23	1,43	1,39	1,48	1,41	1,51	1,46
ДТ-75	0-10	1,10	1,20	1,28	1,27	1,42	1,37	1,46	1,43	1,12	1,20	1,33	1,35	1,36	1,41	1,41	1,41
	10-20	1,27	1,35	1,26	1,34	1,33	1,37	1,37	1,39	1,21	1,35	1,26	1,34	1,30	1,37	1,42	1,39
	0-20	1,18	1,27	1,27	1,30	1,37	1,37	1,41	1,41	1,16	1,27	1,29	1,34	1,33	1,39	1,41	1,40
МТЗ-80	0-10	1,14	1,22	1,42	1,32	1,42	1,35	1,44	1,43	1,11	1,22	1,31	1,32	1,36	1,39	1,37	1,47
	10-20	1,26	1,27	1,34	1,40	1,39	1,40	1,42	1,43	1,26	1,27	1,33	1,37	1,35	1,40	1,35	1,43
	0-20	1,20	1,24	1,38	1,36	1,40	1,37	1,43	1,43	1,18	1,24	1,32	1,34	1,35	1,39	1,36	1,45

НСР₀₁ (для слоя 0-20 см) 0,02 г/см³.

Динамика плотности почвы под кормовой свеклой. 1984 г.
Сплошное уплотнение

Тип трактора	Глубина определения, см	Кратность уплотнения											
		0			1			3			5		
		апрель	июнь	сентябрь	апрель	июнь	сентябрь	апрель	июнь	сентябрь	апрель	июнь	сентябрь
Т-150К	0-10	1,22	1,25	1,28	1,37	1,41	1,34	1,40	1,44	1,33	1,44	1,45	1,33
	10-20	1,28	1,37	1,30	1,28	1,41	1,40	1,44	1,40	1,42	1,42	1,43	1,47
	0-20	1,25	1,31	1,29	1,32	1,41	1,37	1,42	1,42	1,37	1,43	1,44	1,40
К-700А	0-10	1,22	1,26	1,27	1,32	1,37	1,35	1,45	1,40	1,37	1,45	1,46	1,40
	10-20	1,28	1,35	1,33	1,32	1,37	1,37	1,34	1,41	1,39	1,39	1,42	1,40
	0-20	1,25	1,30	1,30	1,32	1,37	1,36	1,39	1,40	1,38	1,42	1,44	1,40
ДТ-75	0-10	1,19	1,22	1,32	1,33	1,30	1,31	1,35	1,36	1,32	1,38	1,40	1,36
	10-20	1,27	1,33	1,32	1,30	1,32	1,31	1,31	1,33	1,33	1,36	1,35	1,34
	0-20	1,23	1,31	1,32	1,31	1,31	1,31	1,33	1,34	1,32	1,37	1,37	1,35
МТЗ-80	0-10	1,19	1,27	1,32	1,35	1,31	1,31	1,37	1,34	1,36	1,38	1,36	1,36
	10-20	1,27	1,33	1,32	1,27	1,31	1,36	1,30	1,36	1,32	1,34	1,41	1,32
	0-20	1,23	1,30	1,32	1,31	1,31	1,33	1,33	1,35	1,34	1,36	1,38	1,34

НСР₀, для апреля 0,02 г/см³; для июня 0,02 г/см³; для сентября 0,03 г/см³.

Изменение порозности почвы, 1982 г.

Тип трактора	Кратность уплотнения	Плотность, г/см ³	Порозность, %	
			общая	аэрация
Т-150К	1	1,42	45,4	11,9
	3	1,48	43,1	10,8
	5	1,50	42,3	7,1
К-700	1	1,41	45,8	12,5
	3	1,45	44,2	10,0
	5	1,47	43,5	9,5
ДТ-74	1	1,41	45,8	11,3
	3	1,42	45,4	11,1
	5	1,44	43,8	9,6
Контроль	0	1,30	50,0	19,7

Чрезмерное уплотнение почвы отрицательно сказывается на ее структурном составе. После одно-, трех- и пятикратных проходов тракторов Т-150К, К-700А, ДТ-75, МТЗ-80 содержание фракции больше 10 мм увеличилось в 1,5–3 раза в зависимости от типа трактора и кратности уплотнения. Одновременно уменьшилось более чем на 12–24% содержание агрономически ценных агрегатов (табл. 27). Результаты определения водопрочности структуры по вариантам уплотнения свидетельствуют о том, что воздействие ходовых систем тракторов уменьшает количественное содержание водопрочных агрегатов.

Любые изменения в свойствах почвы неизменно сказываются на росте корневой системы. Результаты наших исследований показали, что вес корневой массы овса в слое почвы 20–30 см снижался с 8,3 г/м² на контроле до 5,1 г/м² после трехкратного прохода трактора Т-150К и до 4,6 г/м² после пятикратного. При уплотнении трактором К-700 вес корневой массы уменьшился соответственно до 6,4, 3,2 г/м², трактором ДТ-75 – до 4,5, 4,3 г/м³. Масса корней смеси гороха и кукурузы после уплотняющего воздействия колес тракторов также снижается (табл. 28).

Результаты наблюдений за изменением содержания влаги в почве по вариантам опыта свидетельствуют о том, что одно-, трех-, пятикратные проходы тракторов Т-150К, К-700, К-700А, ДТ-75 и МТЗ-80 не влияют на содержание влаги в пахотном горизонте дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (табл. 29, 30).

Ухудшение свойств почвы привело в целом к уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур. Достоверное снижение урожайности овса при сплошном и местном уплотнении получили от трех- и пятикратного воздействия тракторов Т-150К и К-700 и от пятикратного уплотнения трактором ДТ-75. Как показали результаты опытов, кормовая свекла и смесь гороха с кукурузой (на зеленую массу) более чувствительны к изменению плотности сложения почвы, поэтому достоверное снижение урожайности этих культур получили уже от однократного воздействия тракторов Т-150К, К-700, К-700А (для кормовой свеклы), ДТ-75, МТЗ-80, кото-

Таблица 27

Структурно-агрегатный состав почвы (сухое просеивание), 1984 г.

Тип трактора	Кратность уплотнения	Содержание фракций, %			
		> 10 мм	10-0,25 мм	< 0,25 мм	водоустойчивых > 0,25 мм
Т-150К	1	34,5	56,6	8,0	67,9
	3	30,3	59,6	10,1	61,3
	5	39,0	52,5	8,5	59,9
К-700А	1	20,5	64,4	15,1	63,3
	3	25,5	59,0	15,5	63,2
	5	34,0	56,2	9,8	61,6
Контроль ДТ-75	0	14,8	76,3	8,9	69,4
	1	28,7	63,2	8,1	62,2
	3	34,0	52,8	13,2	58,9
МТЗ-80	5	22,5	62,7	14,8	56,9
	1	29,8	52,7	17,5	67,8
	3	34,0	52,8	13,2	63,9
	5	28,1	59,3	12,6	65,8

Таблица 28

Изменение массы корней при уплотнении

Тип трактора	Кратность уплотнения	Слой почвы, см	Вес воздушно-сухой массы корней			
			Овес		Смесь гороха и кукурузы	
			г/м ²	% к контролю	г/м ²	% к контролю
Т-150К	3	0-20	-	-	265	75
		20-30	5,1	61	25	71
	5	0-20	-	-	232	65
К-700	3	20-30	4,6	56	15	43
		0-20	-	-	267	75
	5	0-20	-	-	207	58
ДТ-75	3	20-30	3,2	38	22	63
		0-20	-	-	255	72
	5	0-20	-	-	245	69
МТЗ-80	3	20-30	4,3	52	-	-
		0-20	-	-	287	81
	5	0-20	-	-	32	91
Контроль	0	20-30	-	-	102	29
		0-10	-	-	25	71
		10-20	8,3	-	355	-
					35	-

Влажность слоя 0–20 см дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы*
под смесью гороха с кукурузой, % 1983 г.

Дата	Тип трактора	Кратность уплотнения				
		0	1	3	5	
23 июня	Т-150К	18,7	18,2	17,3	17,9	
		17,7	17,2	16,6	17,3	
	К-700	18,3	17,4	16,4	17,1	
		17,7	16,5	16,6	16,9	
	ДТ-75	17,8	18,8	19,8	19,1	
		17,4	17,8	17,4	16,9	
	МТЗ-80	18,6	18,2	17,7	18,7	
		17,7	16,4	16,5	16,3	
	6 июля	Т-150К	14,4	15,9	15,6	15,5
			13,7	13,7	14,9	14,9
		К-700	14,2	14,0	13,2	13,2
			13,9	13,8	14,4	14,9
ДТ-75		14,1	14,3	15,3	15,9	
		14,2	14,0	14,9	14,0	
МТЗ-80		14,3	14,4	13,4	14,8	
		13,1	12,6	13,2	12,6	
19 июля		Т-150К	12,4	12,7	12,4	14,4
			11,9	11,8	11,5	13,2
		К-700	11,5	12,9	11,4	12,7
			11,6	11,7	–	13,8
	ДТ-75	13,2	13,6	14,8	–	
		13,4	13,0	14,0	12,2	
	МТЗ-80	12,1	11,2	11,1	13,4	
		12,2	10,7	13,0	11,0	

* Числитель – сплошное уплотнение, знаменатель – местное уплотнение.

рое составляет для смеси гороха с кукурузой 7,7, 7,3, 3,0 ц/га, для кормовой свеклы – 92, 187, 70, 72 ц/га соответственно. Наибольшее отрицательное воздействие на урожай культур оказали тяжелые тракторы Т-150К и К-700 (К-700А), наименьшее – ДТ-75, МТЗ-80 (табл. 31, 32).

Все изложенное позволяет сделать следующие выводы.

Наибольшее отрицательное воздействие на агрофизические свойства дерново-подзолистых суглинистых почв оказывают тракторы Т-150К и К-700, меньше – ДТ-75, Т-74 и МТЗ-80.

Однократный проход тракторов Т-150К, К-700, ДТ-75, Т-74 не сказывается на урожае овса и ячменя. Только трехкратный проход Т-150К и

Влажность слоя 0–20 см дерново-подзолистой
легкосуглинистой почвы под кормовой свеклой, % 1984 г.

Дата	Тип трактора	Кратность уплотнения			
		0	1	3	5
22 мая	T-150K	22,5	22,9	23,1	22,2
	K-700A	21,1	21,1	20,4	20,4
	ДТ-75	21,4	20,7	21,0	20,6
	МТЗ-80	20,6	21,7	22,4	21,5
11 июля	T-150K	21,4	20,7	20,8	22,3
	K-700A	22,6	19,5	19,1	19,4
	ДТ-75	21,7	22,9	20,3	19,3
	МТЗ-80	21,0	19,8	21,9	19,1
27 июня	T-150K	20,9	19,4	19,5	20,7
	K-700A	19,4	18,8	18,7	18,2
	ДТ-75	19,4	18,9	18,1	18,4
	МТЗ-80	19,8	19,7	20,6	19,5
11 июля	T-150K	19,0	19,8	19,1	18,6
	K-700A	18,6	16,0	16,9	15,9
	ДТ-75	19,3	18,6	18,7	18,2
	МТЗ-80	17,1	16,6	17,8	17,6
25 июля	T-150K	16,8	16,2	17,2	17,9
	K-700A	16,0	14,7	14,6	15,4
	ДТ-75	16,2	16,0	17,5	16,8
	МТЗ-80	16,9	15,9	15,7	14,2
14 августа	T-150K	5,7	5,6	5,9	7,3
	K-700A	5,7	5,2	5,0	6,4
	ДТ-75	7,3	7,8	7,5	7,5
	МТЗ-80	5,6	6,1	5,6	6,5
4 сентября	T-150K	6,0	5,5	5,7	6,1
	K-700A	6,2	6,1	5,3	6,2
	ДТ-75	6,6	6,5	6,5	6,9
	МТЗ-80	6,1	4,9	6,3	5,6

K-700 и пятикратный проход ДТ-75 ведут к достоверному снижению урожая овса.

Горохо-кукурузная смесь уменьшала урожай при однократном уплотнении почвы тракторами T-150K, K-700 и трехкратном уплотнении тракторами ДТ-75 и МТЗ-80.

Кормовая свекла достоверно уменьшала урожай при однократном уплотнении почвы всеми тракторами.

С увеличением количества проходов тракторов недобор урожая растет.

Уменьшение урожая сельскохозяйственных культур под влиянием уплотнения почвы и ухудшение агрофизических свойств почв требуют незамедлительного решения проблемы снижения уплотнения почвы тракторами и ее разуплотнения.

Урожай сельскохозяйственных культур, ц/га.
Сплошное уплотнение

Тип трактора	Кратность уплотнения	Овес		Смесь гороха и кукурузы*		Кормовая свекла	
		Урожай	Отклонение от контроля	Урожай	Отклонение от контроля	Урожай	Отклонение от контроля
Т-150К	0	30,1	—	44,1	—	745	—
	1	28,4	-1,7	37,4	-7,7	647	-92
	3	24,4	-5,7	30,4	-13,7	524	-221
	5	22,4	-7,7	25,9	-18,2	502	-243
К-700 (для кормовой свеклы	0	30,7	—	46,1	—	745	—
	1	29,8	-0,9	38,8	-7,3	558	-187
	3	27,6	-3,1	35,7	-10,4	518	-227
К-700А)	5	25,8	-4,9	28,3	-17,8	496	-249
ДТ-75	0	30,7	—	44,9	—	614	—
	1	29,2	-1,5	41,9	-3,0	544	-70
	3	29,2	-1,5	35,5	-9,4	543	-71
	5	27,1	-3,6	31,7	-13,2	529	-85
МТЗ-80	0	—	—	43,6	—	628	—
	1	—	—	40,8	-2,8	556	-72
	3	—	—	36,9	-6,7	492	-136
	5	—	—	36,3	-7,3	469	-159
НСР _{0,5}	—	3,0	—	3,0	—	23,4	—

* Абсолютно сухой вес.

Таблица 32

Урожай сельскохозяйственных культур, ц/га.
Местное уплотнение

Тип трактора	Кратность уплотнения	Овес		Смесь гороха и кукурузы*	
		Урожай	Отклонение от контроля	Урожай	Отклонение от контроля
Т-150К	0	31,9	—	45,0	—
	1	31,4	-0,5	33,2	-11,8
	3	28,7	-3,2	25,8	-19,2
	5	22,4	-9,2	19,7	-25,3
К-700	0	32,8	—	46,1	—
	1	31,7	-1,1	35,1	-11,0
	3	30,6	-2,2	24,0	-22,1
	5	27,7	-5,1	20,3	-25,8
ДТ-75	0	34,4	—	44,9	—
	1	34,7	+0,3	39,7	-5,2
	3	33,5	-0,9	26,3	-18,6
	5	31,5	-2,2	24,5	-20,4
МТЗ-80	0	—	—	43,6	—
	1	—	—	37,2	-6,4
	3	—	—	32,3	-11,3
	5	—	—	27,4	-16,2
НСР _{0,5}	—	2,2	—	3,3	—

* Абсолютно сухой вес.

ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ СУГЛИНИСТЫЕ ПОЧВЫ ЛИТВЫ

Сельское хозяйство оснащается современными сельскохозяйственными машинами и тракторами, при использовании которых иногда сильно уплотняется почва и ухудшается строение пахотного и подпахотного слоев. Степень деформации почвы при прохождении сельскохозяйственной техники зависит от типа движителя, массы машин, количества проходов по полю, свойств почвы и ее состояния. Интенсификация земледелия сопровождается использованием новых, более производительных тракторов, почвообрабатывающих орудий, уборочных машин, масса которых увеличивается. Не снижается и удельное давление на почву ходовых систем. Так, по данным С. Скребелиса (1982), плотность (объемная масса) в колее трактора К-700 увеличилась на 27%, Т-150К — на 26%, МТЗ-80 — на 22%, а гусеничного трактора Т-74 — на 20% по сравнению с неуплотненной частью поля. На величину деформации влияет не только удельное давление движителей, но и кратность их воздействия. По тем же данным, двукратное уплотнение движителями трактора Т-150К увеличивало плотность почвы в колее трактора на 37%.

Как показали данные А.И. Пупонина (1984), с повышением скорости движения трактора и транспортных средств по полю деформация почвы заметно снижается. Многими исследованиями установлено, что среднее удельное давление при проходе колесного трактора Т-150К в 1,6–2,0 раза выше, чем при проходе гусеничного трактора Т-150.

Современная технология возделывания зерновых культур требует многократных проходов тракторов, других сельскохозяйственных машин и транспортных средств. Анализ воздействия ходовых систем на почву в технологическом процессе возделывания зерновых культур показывает, что в течение года площадь поля 1–2 раза подвергается сплошному прикатыванию колесами и гусеницами тракторов и сельскохозяйственных машин. При возделывании пропашных культур поле уплотняется 3–4 раза. Исследования, проведенные в Литовском НИИ земледелия, показали, что при разбрасывании навоза уплотняется 40–50% площади поля, при разбрасывании минеральных удобрений — до 15%. Поворотные полосы уплотняются в несколько раз интенсивнее. Не случайно здесь часть посева вымокает, они больше засорены сорняками, и вследствие этого здесь отмечается снижение урожая сельскохозяйственных культур. Опыты показали (Краак, 1978), что на поворотных полосах из-за переуплотнения почвы урожай картофеля уменьшился на 20–25%, ячменя — на 12–15% и овса — на 10–12%.

Осенью при повышенной влажности пахотного слоя во время уборки сахарной свеклы и картофеля происходит сильная деформация и переуплотнение пахотного и подпахотного слоев почвы. Согласно последним данным ЛитНИИ земледелия, применение тяжелой техники при уборке и вывозке с поля сахарной свеклы вызывает сильное переуплотнение почвы, увеличение плотности до 1,59–1,60 г/см³. В связи с этим заметно падает ценность сахарной свеклы как предшественника других культур.

Интенсивность деформации почвы движителями машин зависит от механического состава почвы. Суглинистые почвы деформируются и уплотняются сильнее по сравнению с почвами более легкого механического состава. Надо отметить, что и легкие почвы страдают от переуплотнения движителями тракторов. В опытах Эстонской сельскохозяйственной академии (Вип-

пер, 1982) двукратное сплошное укатывание супесчаных дерново-подзолистых почв трактором Т-150К до предпосевной обработки снижало урожайность ячменя на 12,7 ц/га, или на 38,5%. Меньше деформируются почвы, более богатые гумусом, имеющие лучшую структуру.

Напомним, что при движении техники по полю почва подвергается не только сжатию, но и сдвигу в разных направлениях. На величину уплотнения почвы влияет скорость движения. Наибольшей деформации при проходе тракторов и других машин подвергается пахотный слой, особенно его верхняя часть (0–10 см). Глубина колеи зависит от свойств почвы и ее состояния. По данным ЛитНИИ земледелия, после прохода трактора К-700 через свежеспаханную, рыхлую легкосуглинистую почву глубина колеи составила 11–12 см. После прохода такого же трактора по спелой для обработки почве весной она составила 5–7 см.

Деформация почвы ходовыми системами тракторов и других машин в основном вызывает повышение ее плотности. А плотность почвы является одним из главных физических факторов, определяющих ее плодородие и урожайность.

В уплотненной почве значительно ухудшаются условия деятельности микроорганизмов, тем самым замедляется минерализация, образуется меньше питательных веществ. Например, при плотности почвы $1,6 \text{ г/см}^3$ нитратов накапливается почти в 10 раз меньше, чем в более рыхлой почве. С другой стороны, на более рыхлых почвах повышается водопроницаемость и увеличивается опасность вымывания нитратов. Надо отметить и то, что в результате уплотнения почвы уменьшается количество макропор, повышается механическое сопротивление при проникновению корней и рабочих органов сельскохозяйственных орудий, снижаются водопроницаемость и газообмен, сокращается количество доступной для растений влаги.

Процесс деформации почв под действием движителей отличается от естественного уплотнения, вызываемого гравитационными силами, выпадающими осадками и другими природными факторами: при движении техники по полю уплотняющая деформация распространяется как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении.

Начиная с 1962 г. в ЛитНИИ земледелия на легких суглинках проведено много вегетационных, микроделяночных и лабораторных опытов по определению оптимальной плотности почвы (Зимкувене, 1982; Зимкувене, Тинджюлис, 1974; Каджюлене, 1971). По данным опытов, параметры оптимальной плотности почв для роста и урожайности ячменя зависят от влажности почвы, от удобренности и от вида применяемых удобрений. На более сухих почвах изменение плотности в пределах $1,2\text{--}1,4 \text{ г/см}^3$ почвы почти не имеет значения для растений, на увлажненных почвах оптимальная плотность составляет $1,3\text{--}1,4 \text{ г/см}^3$.

С применением больших доз минеральных удобрений (NPK) параметры оптимальной плотности на сухих почвах сдвигаются в сторону более рыхлых, а на достаточно влажных почвах – в сторону плотных почв. Оптимальная плотность почвы для азотных и калийных удобрений (при влажности почвы 20%) $1,4 \text{ г/см}^3$, для фосфорных удобрений плотность почвы не имеет значения.

Результаты опытов показали, что повышение плотности почвы с $1,4$ до $1,6 \text{ г/см}^3$ резко уменьшило урожай. В среднем за три года урожай зерна яч-

меня был следующим: при плотности почвы $1,0 \text{ г/см}^3$ — $158,0 \text{ г/м}^3$; $1,2$ — $227,9$; $1,4$ — $224,5$ и $1,6 \text{ г/см}^3$ — $103,3 \text{ г/м}^2$ ($\text{НСР}_{95\%} = 38,7$). Повышение плотности с $1,0$ до $1,6 \text{ г/см}^3$ увеличило испарение воды из почвы. Например, при влажности почвы 18 – 20% за двое суток испарилось воды из каждого вегетационного сосуда: при плотности $1,0 \text{ г/см}^3$ — $37,7 \text{ г}$; $1,2$ — $126,2$; $1,4$ — $174,9$ и $1,6 \text{ г/см}^3$ — $224,5 \text{ г}$. При увеличении плотности почвы от $1,4$ до $1,6 \text{ г/см}^3$ влажность устойчивого завядания растений ячменя заметно увеличилась.

Метеорологические условия в республике сильно колеблются — бывают влажные и сухие вегетационные периоды, дождливые и сухие промежутки во время одного вегетационного периода. Определить метеорологические условия будущего вегетационного периода невозможно. Поэтому нельзя предвидеть, какая плотность будет наиболее подходящей для выращивания сельскохозяйственных культур в условиях будущего вегетационного периода.

В 1974 – 1980 гг. на микроделянках величиной 1 м^2 изучалось, какая плотность почвы во время сева чаще всего создает оптимальные условия для роста и плодоношения ячменя. Данные показали, что ячмень, посеянный на удобренной почве, почти не реагировал на плотность в пределах $1,2$ – $1,4 \text{ г/см}^2$ пахотного слоя.

На удобренной (по 90 кг/га НРК) почве ячмень, посеянный в 1975 , 1976 , 1978 и 1980 гг., был более урожайным, когда во время сева плотность почвы составляла $1,2 \text{ г/см}^3$, а в 1974 и 1979 г. при плотности почвы $1,4 \text{ г/см}^3$.

Во время вегетации ячменя плотность почвы изменялась. Сочетание факторов, определяющих изменения плотности пахотного слоя, в каждый год бывает несколько иным. Своеобразно меняется и плотность пахотного слоя. В 1974 , 1975 и 1976 гг. почва, плотность которой до сева была $1,2 \text{ г/см}^3$, во время вегетации ячменя уплотнялась только до $1,25 \text{ г/см}^3$, а в 1976 , 1977 , 1979 и 1980 гг. — до $1,39 \text{ г/см}^3$. Почва, плотность которой до сева была $1,4 \text{ г/см}^3$, во время вегетации 1974 , 1975 и 1979 гг. взрыхлялась до $1,28$ – $1,39 \text{ г/см}^3$, а во время вегетации 1976 , 1977 , 1979 и 1980 гг. уплотнялась до $1,45$ – $1,56 \text{ г/см}^3$. Особенно сильно уплотнялась почва в 1976 г. от ливневого дождя во время появления всходов.

Ячмень, посеянный на рыхлой почве, во время вегетации в большинстве случаев растет на почве, плотность которой близка к оптимальной ($1,3$ – $1,4 \text{ г/см}^3$). Сев на почве, начальная плотность которой составляет $1,4 \text{ г/см}^3$, ведет к снижению урожая. По данным нашего опыта, недобор урожая в таких условиях составил $3,0$ – $8,3 \text{ ц/га}$. На переуплотненной почве особенно сильно страдает ячмень во время засухи и переувлажнения почв.

Указанные параметры плотности пахотного слоя почвы часто нарушаются. С ростом мощности и массы тракторов, сельскохозяйственных машин и транспортных средств возрастает отрицательное воздействие ходовых систем на почву. Полевые опыты и лабораторные исследования, проведенные в ЛитНИИ земледелия на хорошо окультуренном легком суглинке, показали, что в колее после прохода трактора МТЗ-52 плотность почвы повысилась и составила: на глубине 0 – 5 см — $1,38 \text{ г/см}^3$, 5 – 10 см — $1,46 \text{ г/см}^3$ и 10 – 20 см — $1,47 \text{ г/см}^3$, плотность почвы вне колеи трактора — соответст-

Влияние колес трактора К-700 на плотность почвы, г/см³.
Дотнува, 1979 г., весной перед боронованием

Вариант опыта	0—10 см	10—20 см	20—30 см	30—40 см
Без уплотнения	1,34	1,36	1,40	1,46
Уплотнение осенью после вспашки	1,54	1,53	1,50	1,51
Уплотнение весной, за 2—3 дня до наступления физической спелости почвы	1,54	1,56	1,58	1,54
Уплотнение спелой для обработки почвы	1,53	1,51	1,49	1,50

венно 1,05, 1,20 и 1,27 г/см³. В зимнее время плотность в колее трактора увеличилась незначительно.

После прохода трактора ранней весной при влажности 20—21% массы сухой почвы плотность ее достигала наибольшего значения — 1,57—1,59 г/см³. После прохода трактора по спелой для боронования почве (влажность на глубине 0—10 см 17,3—18,8%) плотность ее изменилась незначительно и достигла 1,47—1,50 г/см³. Таким образом, уплотнение, обусловленное давлением ходовых систем трактора и машин, зависит от влажности почвы, а наибольшую опасность для почвы представляют проходы по полю тракторов и других машин осенью и весной, когда она бывает насыщена влагой.

В 1977—1981 гг. изучалась продолжительность последствий проходов трактора К-700 на плотность почвы и урожай возделываемых культур. Наблюдения за плотностью сложения легкосуглинистых почв показали, что уплотняющие деформации при проходе трактора К-700 могут достигать глубины 40 см (табл. 33). Кроме того, установлено, что последствия уплотнения почвы в пахотном слое сохраняются на второй год (несмотря на вспашку и поверхностную обработку) и в подпахотном слое — на третий год. В подпахотном слое плотность почвы восстанавливается медленнее.

В первом году (1978 г.) после уплотнения почвы выращивалась сахарная свекла. После уборки сахарной свеклы и вспашки поля на том же месте повторно заложен такой же опыт. Почва уплотнена так же, как и в предыдущем году. Предпосевная обработка почвы, сев, уход за посевами во всех вариантах одинаковы. В 1980 и 1981 гг. определено последствие уплотненной в предыдущие годы почвы.

Исследования показали, что процесс снижения эффективного плодородия почвы под воздействием двукратного уплотнения почвы носит кумулятивный характер (табл. 34). Депрессия урожайности на уплотненных участках на второй год возрастает. В первый год урожай сахарной свеклы снизился при уплотнении почвы весной до наступления физической спелости почвы на 17%, а на второй год — на 24%.

Полученные данные показывают, что снижение урожайности наблюдается не только в годы закладки опыта, но и на второй и третий годы после уп-

Влияние уплотнения почвы на урожайность
(в относительных числах). Дотиува

Вариант опыта	1978 г.	1979 г.	1980 г.	1981 г.
	Сахарная* свекла	Яровые зерновые*		
Без уплотнения	100	100	100	100
Уплотнение осенью после вспашки	84	80	89	96
Уплотнение весной, за 2–3 дня до наступления физической спелости почвы	83	76	91	95
Уплотнение спелой для обра- ботки почвы	86	80	95	101

*Урожай сахарной свеклы составил 336 ц/га, урожай яровых зерновых – 21–29 ц/га.

лотняющего воздействия трактора на почву, несмотря на то, что проводилась зяблевая вспашка на глубину 22–24 см и культивация на глубину 8–10 см при предпосевной обработке. Такая обработка не устранила отрицательного действия уплотнения на урожайность, но с каждым годом ее уменьшала. Вместе с тем важно отметить, что в последующие годы проявляется постепенное восстановление прежнего состояния уплотнения почв. Это происходит под влиянием не только обработки почвы, но и природных факторов, способствующих разуплотнению.

В 1983–1984 гг. в ЛитНИИЗ проводили опыты по изучению эффективности минеральных и органических удобрений при уплотняющем воздействии на почву ходовых систем тракторов. В трехфакторном опыте изучали действие минеральных удобрений, вносимых до и после уплотнения почвы. Почву уплотняли колесным (Т-150К) и гусеничным (ДТ-75М) тракторами: влажную (20–23%) и физически спелую (14–18%) почву. После двукратного сплошного укатывания делянок проводили боронование и культивацию почвы на глубину 7–9 см и высевали сахарную свеклу.

Данные двухлетних исследований (табл. 35) показали, что при двукратном проходе трактора Т-150 К по сухой почве плотность ее в пахотном слое (0–20 см) увеличилась до 1,44 г/см³, а влажной – до 1,51 г/см³ по сравнению с 1,31 г/см³ в варианте, где почва не уплотнялась. При уплотнении почвы трактором ДТ-75 М плотность почвы увеличилась соответственно до 1,42 и 1,49 г/см³.

Уплотнение почвы тракторами Т-150 К и ДТ-75 М оказало отрицательное воздействие на урожай сахарной свеклы только на влажной почве. При уплотнении почвы трактором Т-150 К недобор урожая сахарной свеклы составил 14,4%, а при уплотнении трактором ДТ-75 М – 12,0%. Уплотнение физически спелой почвы тракторами Т-150 К и ДТ-75 М несколько повысило урожай сахарной свеклы, потому что на этих делянках по сравнению с контролем отмечались более ранние и дружные всходы. Минеральные удобрения, внесенные после уплотнения почвы, действовали лучше, чем внесенные перед уплотнением.

Последствия уплотнения почвы на урожайность ячменя в следующем году не отмечалось, так как погодные условия были очень благоприятными для роста злаковых культур. Замечена только тенденция к увеличению урожая ячменя в тех вариантах, где минеральные удобрения вносились после уплотнения почвы.

Эффективность органических удобрений изучали в опыте, заложенном в 1984 г. В почву внесли навоз из расчета 60 т/га, после чего поле вспахали, уплотнили трактором К-701, провели предпосевную обработку и высели ячмень. При уплотнении влажной почвы осенью недобор урожая ячменя составлял 7,9 ц/га, т.е. 29,5%, уплотнение влажной почвы весной снизило урожай на 9,6 ц/га, т.е. 35,7%, а уплотнение сухой почвы весной – на 1,0 ц/га, т.е. 3,7%. Такое резкое снижение урожая ячменя после внесения навоза и уплотнения влажной почвы как осенью, так и весной можно объяснить плохими условиями разложения навоза и пониженной доступностью питательных элементов для растений.

С целью нахождения способов разуплотнения сильно уплотненной почвы в 1984 г. провели опыт, в котором применяли глубокое рыхление подпахотного слоя. Для этого использовали культиватор-плоскорез-глубокорыхлитель КПГ-250, которым можно рыхлить почву до 55–60 см, и чизельный культиватор, достигающий глубины 40–45 см, сконструированный в ЛитНИИ механизации и электрификации сельского хозяйства. При рыхлении осенью уплотненной влажной почвы культиватором-плоскорезом получили достоверное увеличение урожая ячменя на 18,9%, а чизельным культиватором – на 14,0%. При рыхлении весной уплотненной влажной почвы урожай ячменя не удалось повысить ни одним из применявшихся культиваторов из-за большой глыбистости.

Материалы исследований показывают, что переуплотнение почв движителями тракторов и сельскохозяйственных машин нарушает условия роста и снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Давление на почву вызывает не только снижение урожайности, но и изменение микрорельефа поля – это влияет на надежность и производительность машин. Кроме того, переуплотнение почвы ведет к увеличению удельного сопротивления почвообрабатывающих орудий при последующих обработках.

Для устранения отмеченных отрицательных явлений необходимо: внедрять широкозахватные агрегаты, полностью реализующие тяговые возможности мощных тракторов; энергонасыщенные тракторы применять на спелой для обработки почвы; на небольших массивах, где контуры полей не позволяют эффективно использовать агрегатирование сельскохозяйственных машин вширь, применять комбинированные агрегаты. Кроме того, для уменьшения вреда, приносимого переуплотнением почвы на поворотных полосах, через каждые 3–4 года надо менять направление вспашки. Тем самым будет меняться направление предпосевной обработки почвы, посева и других работ.

Глубокое рыхление уплотненных слоев рыхлителями чизельного типа улучшает сложение как пахотного, так и подпахотного слоев почвы. Важный агротехнический способ снижения уплотнения почвы – оптимизация маршрутов движения сельскохозяйственной техники по полю. Разработаны и применяются различные способы контролируемого движения тракторов и машин по полю. Один из них – постоянные технологические колеи для ухода за посевами.

Эффективность минеральных удобрений при разной плотности почвы.
Сахарная свекла

Вариант опыта	1983 г.				
	Объемная масса, г/см ³				Урожай, ц/га
	после посева		перед уборкой		
	0—10 см	10—20 см	0—10 см	10—20 см	
Без минеральных удобрений					
Контроль	1,20	1,39	1,36	1,40	254
Т-150К, влажная почва	1,46	1,57	1,47	1,52	212
Т-150К, сухая почва	1,35	1,55	1,50	1,56	247
ДТ-75М, влажная почва	1,45	1,57	1,48	1,52	225
ДТ-75М, сухая почва	1,33	1,56	1,46	1,49	264
НСР _{95%}					50
NPK перед уплотнением					
Контроль	1,30	1,40	1,39	1,44	287
Т-150К, влажная почва	1,36	1,51	1,42	1,50	252
Т-150К, сухая почва	1,34	1,48	1,41	1,50	265
ДТ-75М, влажная почва	1,48	1,59	1,48	1,57	262
ДТ-75М, сухая почва	1,41	1,54	1,42	1,55	250
НСР _{95%}					54
NPK после уплотнения					
Контроль	1,20	1,36	1,32	1,36	302
Т-150К, влажная почва	1,41	1,50	1,48	1,52	268
Т-150К, сухая почва	1,39	1,56	1,39	1,59	315
ДТ-75М, влажная почва	1,35	1,62	1,48	1,56	217
ДТ-75М, сухая почва	1,25	1,42	1,44	1,50	291
НСР _{95%}					48

Одним из агротехнических путей снижения воздействия движителей сельскохозяйственной техники на почву является минимизация ее обработки, совмещение технологических операций и приемов по подготовке почвы, внесению удобрений и посеву сельскохозяйственных культур.

Степень переуплотнения почвы также зависит от принятого способа движения посевных и других агрегатов, размеров загонов и ширины поворотных полос.

Повышение содержания в пахотном слое органического вещества, улучшение оструктуренности способствуют возрастанию устойчивости почвы к уплотнению.

1984 г.					урожай, ц/га	1983–1984 гг., средний урожай, ц/га
Объемная масса, г/см ³						
после посева		перед уборкой				
0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см			
Без минеральных удобрений						
1,20	1,32	1,36	1,39	451	352	
1,41	1,53	1,48	1,52	314	263	
1,28	1,44	1,30	1,47	435	341	
1,34	1,48	1,50	1,49	411	318	
1,25	1,39	1,39	1,45	454	359	
				59	46	
NPK перед уплотнением						
1,20	1,39	1,34	1,39	454	370	
1,44	1,50	1,47	1,48	407	329	
1,27	1,42	1,42	1,42	473	405	
1,33	1,53	1,46	1,47	413	338	
1,25	1,44	1,41	1,42	449	350	
				65	63	
NPK после уплотнения						
1,29	1,44	1,37	1,43	478	383	
1,49	1,55	1,54	1,53	428	348	
1,30	1,45	1,35	1,44	488	401	
1,44	1,54	1,43	1,47	418	318	
1,33	1,44	1,51	1,49	492	392	
				46	34	

СЕРЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ

Серые лесные почвы занимают более 6 млн га пашни. Однако воздействие на них движителей сельскохозяйственной техники слабо изучено. Имеющиеся сведения по воздействию ходовых систем тракторов на серую лесную почву Западной Сибири показывают значительное ее уплотнение (до 1,48 г/см³) в пахотном слое по следам тракторов Т-150 К и К-701 при их работе на севе.

Основные задачи исследований заключались в следующем. 1. Изучение влияния движителей сельскохозяйственной техники на физические свойства

Физические свойства серой лесной почвы

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)			
			1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005
A _{пах}	0-10	2,8	0,1	1,3	54,8	11,6
A _п	10-20	2,5	0,1	3,5	58,2	12,6
B ₁	35-45	2,2	-	20,7	32,5	9,9
B ₂	55-65	0,5	-	28,9	19,0	9,5
B ₃	75-85	Нет	-	2,8	43,6	8,9
B _с	105-115	"	-	5,4	42,1	8,9

ва серой лесной почвы и урожай озимой пшеницы, кукурузы и ярового ячменя. 2. Проведение исследований по определению взаимосвязи между уровнем воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на серую лесную почву и динамике ее самовосстановления во времени. 3. Определение нормативов допустимых удельных давлений на серую лесную почву. Исследования проводили на трех полевых опытах.

Опыт № 1 заложен на землях учхоза Ивановского техникума механизации (Ясногорский район Тульской области) в августе 1982 г. Опыт заложен по чистому пару под посев озимой пшеницы. В почву под зяблевую вспашку внесено 80-100 т/га навоза и 5 ц/га фосфорно-калийных удобрений. Сплошное дву- и четырехкратное покрытие поля следами тракторов ДТ-75, МТЗ-82, Т-150 К и К-701 проведено 16-17 августа 1982 г. после предпосевной обработки при влажности 18-20% (0,6-0,7 НВ). После уплотнения проведено лущение поверхности и посев пшеницы (сорт Ахтырчанка) перекрестным способом 22 и 24 августа при норме высева 300 кг/га. Опыт заложен в четырехкратной повторности. Размер делянок 7 × 25 м.

Опыт № 2 заложен весной 1983 г. на землях совхоза "Каширский" Московской области под посев кукурузы по кукурузе. Осенью 1982 г. после уборки кукурузы проведена зяблевая вспашка, а затем чизелевание на глубину 28-30 см. Уплотнение почвы проведено после весеннего боронования теми же тракторами и по той же схеме, что и в опыте № 1, но при более высокой влажности (24-26%, или 0,9-1,0 НВ). Посев кукурузы проведен широкорядным способом 25 апреля 1983 г. после поверхностного рыхления.

Опыт № 3 был заложен весной 1984 г. на поле из-под озимой пшеницы под посев ярового ячменя на том же поле, что и опыт № 1. Осенью 1983 г. проведена зяблевая вспашка, затем уплотнение после весеннего боронования и культивации. Влажность почвы в момент уплотнения составляла 23-25% (0,8-0,9 НВ).

После уплотнения ходовыми системами тракторов (по той же схеме, что и в предыдущих опытах) внесено 5 ц/га фосфорно-калийных удобрений. Перед посевом ячменя проведена еще одна культивация.

Содержание фракций, % (размер частиц, мм)			Общая удельная поверхность, м ² /г	Плотность твердой фазы	НВ, % от массы	Границы пластичности, % от массы	
0,005–0,001	< 0,001	< 0,01				верхняя	нижняя
13,4	18,8	43,8	57	2,64	26,1	31,3	20,9
12,3	19,2	44,1	61	2,66	24,8	29,0	20,5
11,8	25,1	46,8	72	2,69	25,1	31,1	22,1
11,9	30,7	52,1	87	2,72	23,4	34,6	22,4
11,2	33,5	53,6	91	2,73	–	–	–
11,7	31,9	52,5	90	2,78	–	–	–

Характеристика некоторых свойств серой лесной почвы (опыты № 1 и 3) представлена в табл. 36.

Содержание гумуса в пахотном слое составляет 2,8–2,5%. По механическому составу почва тяжелосуглинистая. Удельная поверхность (по Кутилеку) изменяется сверху вниз по профилю от 57 до 90 м²/г. Наименьшая влагоемкость в пахотном слое составляет 25–26% от массы.

Изучение влияния движителей сельскохозяйственной техники на серую лесную почву и динамики ее разуплотнения при возделывании озимой пшеницы

Изучение плотности и твердости (табл. 37, 38) показало, что статистически значимое изменение этих важнейших показателей физического состояния почв под воздействием движителей тракторов наблюдалось в слое 0–40 см. Наибольшее уплотнение отмечено в слое 10–30 см под воздействием ходовых систем тракторов Т-150К и К-701. За осенне-зимне-весенний период отмечено снижение плотности на исходно уплотненных вариантах и некоторое повышение на исходно рыхлых вариантах опыта. В целом же наблюдалось выравнивание плотности. Этот процесс наблюдался как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах.

Для выявления изменения структурного состояния почвы при уплотняющем действии тракторов изучены структурный состав, водопрочность структуры (по Саввинову, в двукратной повторности), порозность агрегатов (фиксажным методом, в четырехкратной повторности).

Приведен анализ образцов, отобранных в октябре 1982 г. и в июне 1983 г. Результаты анализа сухого просеивания образцов 1982 г. показали незначительное увеличение содержания фракции более 10 мм в верхней части пахотного слоя (табл. 39). В нижележащих слоях различий не обнаружено. Распределение структурных отдельностей по фракциям в вариантах опыта сходно с таковым в контроле. В образцах 1983 г. содержание агрегатов более 10 мм увеличилось, но различия в вариантах опыта с контролем исчезли.

Изменение плотности* серой лесной почвы под воздействием
двигателей в опыте № 1, г/см³

Гори- зонт	Глуби- на, см	Сроки опреде- ления**	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения							
				ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
				2	4	2	4	2	4	2	4
Ап	0-10	1	1,20±0,05	1,21±0,03	1,40±0,04	1,22±0,02	1,37±0,05	1,24±0,08	1,43±0,04	1,17±0,03	1,49±0,04
		2	1,34±0,06	1,24±0,12	1,34±0,04	1,28±0,04	1,27±0,12	1,28±0,12	1,41±0,02	1,35±0,09	1,40±0,04
		3	1,36±0,07	1,37±0,07	1,37±0,06	1,35±0,12	1,36±0,04	1,33±0,09	1,44±0,09	1,39±0,11	1,43±0,09
	10-20	1	1,41±0,04	1,45±0,05	1,56±0,02	1,46±0,04	1,41±0,05	1,57±0,05	1,55±0,07	1,47±0,02	1,52±0,02
		2	1,42±0,09	1,32±0,14	1,43±0,02	1,34±0,05	1,41±0,12	1,41±0,04	1,55±0,06	1,42±0,14	1,41±0,09
		3	1,38±0,06	1,39±0,06	1,43±0,07	1,37±0,06	1,42±0,09	1,39±0,06	1,44±0,06	1,43±0,05	1,45±0,06
	20-30	1	1,32±0,03	1,46±0,03	1,45±0,04	1,43±0,04	1,42±0,04	1,56±0,04	1,52±0,04	1,44±0,06	1,48±0,05
		2	1,41±0,04	1,31±0,04	1,45±0,18	1,35±0,24	1,32±0,04	1,40±0,04	1,40±0,11	1,43±0,02	1,45±0,03
		3	1,42±0,05	1,45±0,03	1,44±0,14	1,43±0,04	1,47±0,03	1,40±0,04	1,49±0,06	1,46±0,02	1,48±0,04
В ₁	30-40	1	1,41±0,05	1,47±0,07	1,42±0,02	1,52±0,05	1,43±0,05	1,52±0,05	1,48±0,04	1,41±0,05	1,51±0,03
		3	1,35±0,04	1,35±0,04	1,41±0,03	1,36±0,04	1,45±0,01	1,38±0,05	1,46±0,07	1,43±0,16	1,44±0,04
	40-50	1	1,46±0,03	1,52±0,06	1,43±0,03	1,44±0,03	1,45±0,05	1,50±0,04	1,54±0,04	1,49±0,04	1,49±0,04
		3	1,31±0,04	1,30±0,02	1,40±0,14	1,35±0,02	1,42±0,01	1,41±0,05	1,44±0,04	1,37±0,07	1,40±0,04
	50-60	1	1,47±0,03	1,52±0,06	1,47±0,02	1,53±0,04	1,50±0,03	1,51±0,06	1,55±0,05	1,52±0,02	1,45±0,05
		3	1,38±0,02	1,31±0,02	1,41±0,01	1,45±0,09	1,44±0,04	1,44±0,05	1,53±0,11	1,37±0,04	1,36±0,04

*Доверительный интервал величины при уровне значимости 5%.

**1 - 30.08 1982 г.; 2 - 24.05 1983 г.; 3 - 3.08 1983 г.

Изменение твердости, 10^{-1} МПа, под воздействием движителей тракторов.
Опыт № 1, 20 августа 1982 г.

Глубина, см	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения			
		ДТ-75		МТЗ-82	
		2	4	2	4
0-5	2±1	20±1	23±2	23±2	24±3
10-15	8±2	19±3	20±2	17±1	21±2
20-25	13±3	20±3	24±3	22±2	23±2
30-35	26±3	29±3	29±3	31±3	29±3
40-45	32±3	34±3	33±3	35±2	31±3

Глубина, см	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения			
		Т-150К		К-701	
		2	4	2	4
0-5	2±1	26±2	38±3	23±2	29±2
10-15	8±2	22±3	32±3	22±1	26±1
20-25	13±3	25±3	32±3	27±3	26±3
30-35	26±3	29±3	35±4	31±3	30±3
40-45	32±3	34±3	36±3	34±3	35±2

Водопрочность структурных отдельностей серой лесной почвы при воздействии тракторов при влажности 18–20% не изменилась. Порозность агрегатов серой лесной почвы осенью 1982 г. составила 35–37% в слое 0–10 см и 34–35% в слое 10–20 см, что свидетельствует о неудовлетворительном ее состоянии (см. табл. 39).

Различия в порозности агрегатов на вариантах опыта по сравнению с контролем составили всего 1–2% в слое 0–10 см; в нижележащих слоях различий не было. Уплотнение тракторами вызвало изменения в межагрегатной порозности. Под влиянием ходовых систем тракторов ДТ-75, Т-150К, К-701 она уменьшилась на 9–10% в слое 0–10 см и 4–5% в слое 10–20 см. Изменения в межагрегатной порозности прослеживаются до глубины 40 см. Порозность агрегатов летом 1983 г. возросла и составила в слое 0–10 см 39–42% и 38–40% в слое 10–20 см. Вероятно, в результате процессов набухания шло разуплотнение почвы, которое и привело к увеличению порозности. Биологический урожай озимой пшеницы варьировал в пределах 40–46 ц/га, и практически различия по вариантам опыта были незначительны (табл. 40). Таким образом, урожайные данные также подтверждают вывод о значительном выравнивании физических свойств серой лесной почвы за осенне-зимне-весенний период, что говорит о ее саморазуплотнении в результате увлажнения, замерзания, оттаивания.

Изменение состояния структуры и порозности серой лесной почвы при уплотнении, %. Опыт 1, озимая пшеница

Глубина, см	Показатель	Контроль	Вариант опыта, кратность уплотнения							
			ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
			2	4	2	4	2	4	2	4
Август 1982 г.										
0-10	Агрегаты > 10 мм, %	16,3	18,9	37,1	24,4	27,9	36,8	26,4	21,0	18,8
	Коэффициент структурности	1,3	1,1	0,9	1,2	1,2	1,0	1,3	1,2	1,1
	Порозность									
	общая	55,0	54,0	47,0	54,0	48,0	53,0	45,0	54,0	44,0
	в агрегатах	37,4	36,9	39,3	36,4	36,5	36,7	36,3	36,8	36,0
	межагрегатная	28,1	22,4	12,7	27,7	18,1	25,8	13,7	27,2	12,5
10-20	Агрегаты > 10 мм, %	31,8	31,9	35,8	32,5	30,4	39,6	36,5	31,8	32,5
	Коэффициент структурности	1,1	1,1	0,9	1,2	1,3	1,0	1,0	1,1	1,2
	Порозность									
	общая	47,0	45,0	43,0	44,0	47,0	41,0	41,0	45,0	42,0
	в агрегатах	35,3	35,4	34,2	35,3	33,8	34,2	35,3	37,3	34,5
	межагрегатная	18,1	14,9	13,4	13,4	20,0	10,3	8,8	12,3	11,5
Июнь 1983 г.										
0-10	Агрегаты > 10 мм, %	42,5	51,5	39,3	46,4	34,9	37,8	57,9	53,3	46,3
	Коэффициент структурности	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	0,5	0,5
	Порозность									
	общая	42,2	53,0	46,2	51,5	51,9	51,5	46,6	48,9	47,0
	в агрегатах	39,7	39,1	42,0	39,8	41,5	40,5	39,5	42,0	39,6
10-20	Агрегаты > 10 мм, %	43,4	43,8	20,6	34,5	29,6	29,6	25,7	33,6	43,4
	Коэффициент структурности	0,8	0,7	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	0,9	0,6
	Порозность									
	общая	47,0	50,4	46,2	49,6	47,0	47,0	41,7	47,0	47,0
	в агрегатах	38,0	38,2	40,3	36,4	39,3	37,8	38,0	41,2	39,2
	межагрегатная	14,0	19,7	10,0	20,8	12,7	14,8	6,0	9,9	12,8

Биологический урожай озимой пшеницы в опыте № 1, ц/га * 1983 г.

Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения			
	ДТ-75		МТЗ-82	
	2	4	2	4
45,2±4,5	44,8±2,6	46,0±3,0	40,4±3,3	45,1±2,7

Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения			
	Т-150К		К-701	
	2	4	2	4
45,2±4,5	43,1±2,8	44,6±3,4	45,0±3,7	44,6±4,2

*Доверительный интервал величины урожая при уровне значимости 5%.

В следующем, 1984 г. нами был проверен вывод о саморазуплотнении почвы. Для этого были определены важнейшие ее физические параметры, которые подтвердили этот вывод. В 1984 г. на поле возделывался ячмень. Биологический урожай зерна составлял около 37 ц/га по вариантам опыта, различия были несущественны.

Изучение влияния движителей сельскохозяйственной техники на серую лесную почву и динамики ее разуплотнения при возделывании кукурузы

Статистически значимое повышение плотности под воздействием движителей тракторов в опыте № 2, так же как и в опыте № 1, отмечается на глубину 30–40 см (табл. 41). Наибольшее уплотнение также зафиксировано в слое 10–30 см на делянках с четырехкратным проходом трактора К-701. Плотность почвы повысилась до 1,62–1,63 г/см³, т.е. увеличилась на 0,26–0,27 г/см³, или на 20% по сравнению с неуплотненным контролем. На 0,19–0,24 г/см³ повысилась плотность под воздействием трактора Т-150К и на 0,10–0,20 г/см³ – под воздействием ходовых систем тракторов ДТ-75 и МТЗ-82.

Статистически значимое повышение твердости почвы отмечено до глубины 25–30 см (табл. 42). При четырехкратных проходах тракторов Т-150К и К-701 различия твердости с контролем составляют 10–11 кг/см². С глубиной нарастание твердости под воздействием ходовых систем тракторов по сравнению с контролем снижается и на глубине 30 см составляет 2–3 кг/см². По мере подсыхания почвы в течение вегетации кукурузы отмечалось закономерное повышение твердости и ее выравнивание по всем вариантам опыта.

Отмечается более высокая степень уплотнения почвы под воздействием ходовых систем тракторов в опыте № 2, что можно объяснить более высокой влажностью почвы, при которой закладывался опыт, и тем обстоя-

Таблица 41

Изменение плотности * серой лесной почвы под воздействием движителей в опыте № 2, г/см³

Глубина, см	Сроки определения**	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения							
			ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
			2	4	2	4	2	4	2	4
0-10	1	1,20±0,06	1,38±0,03	1,27±0,08	1,20±0,03	1,29±0,03	1,27±0,04	1,24±0,05	1,24±0,04	1,23±0,04
	2	1,41±0,08	1,45±0,08	1,44±0,21	1,43±0,09	1,48±0,11	1,41±0,25	1,48±0,19	1,45±0,21	1,44±0,23
	3	1,22±0,03	1,27±0,07	1,46±0,25	1,17±0,02	1,23±0,07	1,45±0,12	1,40±0,02	1,37±0,07	1,14±0,06
10-20	1	1,34±0,03	1,54±0,04	1,54±0,09	1,47±0,07	1,54±0,05	1,54±0,04	1,58±0,07	1,50±0,07	1,61±0,07
	2	1,38±0,18	1,43±0,15	1,49±0,19	1,40±0,09	1,54±0,18	1,51±0,14	1,61±0,23	1,44±0,05	1,53±0,06
	3	1,43±0,04	1,47±0,04	1,54±0,03	1,43±0,06	1,47±0,05	1,44±0,07	1,68±0,07	1,46±0,06	1,44±0,07
20-30	1	1,36±0,07	1,48±0,04	1,52±0,03	1,46±0,06	1,49±0,07	1,55±0,03	1,55±0,03	1,53±0,05	1,62±0,04
	2	1,41±0,24	1,33±0,15	1,44±0,25	1,36±0,26	1,49±0,09	1,46±0,08	1,51±0,23	1,49±0,21	1,46±0,14
	3	1,43±0,06	1,43±0,07	1,44±0,06	1,43±0,09	1,42±0,02	1,44±0,07	1,64±0,05	1,44±0,07	1,56±0,04
30-40	1	1,50±0,07	1,50±0,03	1,51±0,04	1,49±0,02	1,50±0,04	1,47±0,09	1,53±0,08	1,54±0,03	1,59±0,03
	3	1,46±0,03	1,37±0,09	1,38±0,05	1,36±0,02	1,41±0,07	1,41±0,07	1,41±0,04	1,45±0,04	1,39±0,04
40-50	1	1,53±0,05	1,52±0,04	1,49±0,06	1,50±0,04	1,48±0,03	1,55±0,01	1,54±0,04	1,51±0,07	1,54±0,06
	3	1,40±0,07	1,47±0,03	1,39±0,05	1,41±0,03	1,40±0,03	1,37±0,07	1,48±0,04	1,42±0,04	1,39±0,04
50-60	1	1,49±0,07	1,51±0,09	1,53±0,08	1,52±0,05	1,53±0,04	1,55±0,06	1,53±0,03	1,53±0,05	1,54±0,09
	3	1,46±0,04	1,50±0,03	1,45±0,01	1,34±0,03	1,41±0,02	1,39±0,07	1,46±0,03	1,42±0,04	1,39±0,04

*Доверительный интервал величин при уровне значимости 5%.

**1 - 3-17.05 1983 г.; 2 - 12.07 1983 г.; 3 - 16.08 1983 г.

тельством, что паровое поле в опыте № 1 было заправлено высокой дозой (80–100 т/га) органического удобрения.

Определение плотности в период вегетации кукурузы (12 июля и 16 августа 1983 г.) в пахотном слое показало различную динамику этого показателя. Отмечается повышение плотности в слое 0–10 см на исходно рыхлых вариантах (контроль, двукратное воздействие тракторами ДТ-75, МТЗ-82). Вместе с тем на вариантах опыта с тракторами ДТ-75 и МТЗ-82 наблюдалось саморазуплотнение в слое 10–30 см. К концу вегетационного периода высокая плотность в пахотном слое наблюдалась на вариантах опыта с воздействием на почву тракторами Т-150К и К-701 (1,55–1,68 г/см³), т.е. на этих вариантах опыта не было разуплотнения почвы в пахотном слое в течение вегетационного периода. В то же время в подпахотном слое (30–60 см) на уплотненных весной вариантах наблюдалось саморазуплотнение почв.

Образцы для изучения изменения структуры были отобраны в мае 1983 г. Здесь также определялся структурный состав по Саввинову (в двукратной повторности) и порозность агрегатов (в четырехкратной повторности) по двум повторениям опыта.

Данные сухого просеивания (табл. 43) показали значительное увеличение агрегатов крупнее 10 мм на всех вариантах опыта по сравнению с контролем. В верхней части пахотного слоя при четырехкратных проходах тракторов Т-150К и К-701 содержание агрегатов крупнее 10 мм возрастает более чем в 2 раза. В слое 10–20 см содержание этих агрегатов увеличивается на 30–49%. Влияние уплотнения прослеживается до глубины 30 см. Максимальное количество агрегатов крупнее 10 мм наблюдается в нижней части пахотного слоя, где оно достигает 80–90%. Строгой закономерности в увеличении содержания этих агрегатов по вариантам уплотнения не обнаружено, но в большинстве случаев глыбистость выше при четырехкратных проходах тракторов.

На вариантах с четырехкратными проходами тракторов К-701, ДТ-75, Т-150К и на контроле были отобраны образцы почв с поверхности в пятикратной повторности. Определение структурного состава в этих образцах также показало увеличение содержания глыбистой фракции под действием тракторов на 20–30%.

Подверглась изменению и порозность серой лесной почвы (табл. 44). Наиболее резкое снижение общей порозности отмечается в слое 10–30 см — на 9–10% при четырехкратном воздействии тракторов Т-150К и К-701 и на 5–7% в других вариантах опыта. В слое 0–10 см различий между вариантами опыта по общей порозности нет, что объясняется рыхлением этого слоя перед посевом кукурузы.

Порозность в отдельных агрегатах снизилась в слое 0–40 см на 3–7%. Рыхление верхнего слоя после уплотнения тракторами на этом показателе не сказалось. Межагрегатная порозность почвы в слое 10–20 см снизилась почти в 2 раза под действием четырехкратных проходов тракторов. В верхней части пахотного слоя она не изменилась, так как перед посевом после уплотнения проводилась культивация. Следует отметить вообще низкую величину межагрегатной порозности почвы (глубже 10 см она изменяется от 3–4 до 10%). При уплотнении тракторами в поверхностном слое при контакте с движителями происходит в первую очередь уплотнение агре-

Изменение твердости под воздействием движителей тракторов
в опыте № 2, 10^{-1} МПа

Глубина, см	Варианты опыта, кратность уплотнения							
	Контроль		ДТ-75				МТЗ-82	
			2		4		2	
	I*	II	I	II	I	II	I	II
0-5	3±2	25±6	9±1	18±5	13±3	19±5	7±4	18±5
10-15	15±6	46±7	15±3	34±7	20±5	39±5	17±3	31±5
20-25	19±6	48±3	25±5	38±8	21±4	41±5	19±5	33±7
30-35	27±6	54±5	30±2	45±5	27±3	47±6	26±4	41±5
40-45	35±4	54±7	35±5	47±7	36±3	53±7	35±3	47±9

*I – 28.04 1983 г.; II – 12.07 1983 г.

гатов, снижение их порозности, а при передаче давлений на глубину идет снижение межагратной порозности.

Четких различий в порозности агрегатов между вариантами уплотнения после дву- и четырехкратных проходов тракторов не выявлено, т.е. даже двукратные проходы тракторов по влажной серой лесной почве приводят к значительному уплотнению почвы, ухудшению структурного состояния пашни, увеличению ее глыбистости, снижению не только общей и межагратной порозности, но и порозности агрегатов. Изменить порозность агрегатов, вернуть ее к исходному состоянию с помощью одних обработок, по-видимому, невозможно. Для разуплотнения агрегатов, увеличения их порозности необходимо время.

Ухудшение физических свойств почвы и параметров ее структуры снизило урожай зеленой массы кукурузы. Снижение урожая отмечено на вариантах с четырехкратным проходом тракторов ДТ-75 и МТЗ-82, но наи-

Таблица 43

Содержание агрегатов > 10 мм, %, в серой лесной почве
при уплотнении тракторами.
Опыт № 2, кукуруза. Май 1983 г.

Глубина, см	Контроль	Вариант опыта, кратность уплотнения							
		ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
		2	4	2	4	2	4	2	4
0-10	31,6	43,3	54,6	37,5	47,6	54,3	69,3	30,0	64,3
10-20	42,7	91,7	79,7	44,6	81,7	74,7	91,1	78,8	73,9
20-30	50,7	53,7	78,8	59,3	23,2	71,8	88,9	26,9	84,4
30-40	55,5	18,1	25,3	37,3	23,2	23,6	44,2	15,6	42,7
0-5	47,0	75,6	—	—	—	—	67,4	—	75,9

Варианты опыта, кратность уплотнения

МТЗ-82		Т-150К				К-701			
4		2		4		2		4	
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
14±4	14±5	9±4	13±6	14±4	25±7	12±3	21±6	13±3	25±5
20±3	32±7	19±4	32±7	21±3	47±8	23±3	34±9	23±3	39±7
25±4	41±6	25±5	41±6	22±3	51±6	27±3	42±6	23±2	39±7
32±4	43±5	28±4	49±6	27±4	48±7	30±4	48±6	28±3	45±5
39±6	52±9	36±5	55±7	35±5	50±8	35±3	52±7	36±1	48±7

Таблица 44

Изменение порозности серой лесной почвы, %, под воздействием движителей тракторов. Опыт № 2, май 1983 г. Среднее из четырех повторностей

Глубина, см	Категории порозности*	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения							
			ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
			2	4	2	4	2	4	2	4
0-10	1	54,7	51,7	52,0	54,7	51,3	52,1	53,2	54,3	53,6
	2	40,5	36,5	37,6	37,2	39,1	36,4	36,4	37,5	36,3
	3	25,2	24,0	23,1	27,9	20,0	24,7	26,4	29,9	27,7
10-20	1	49,2	42,1	42,1	44,7	43,2	42,1	40,6	43,8	39,5
	2	40,9	35,6	37,4	36,4	40,3	37,0	36,4	37,4	33,6
	3	14,1	10,4	7,5	13,1	4,9	8,1	6,6	10,2	8,9
20-30	1	49,0	44,6	43,1	45,3	44,2	41,9	41,9	42,7	39,3
	2	39,3	38,2	35,4	36,3	39,8	37,6	37,7	36,6	35,3

*Порозность: 1 — общая, 2 — в агрегатах, 3 — межагрегатная.

более резкое снижение урожая (на 26–52%) зафиксировано на делянках с дву- и особенно четырехкратным воздействием на почву движителей тракторов Т-150К и К 701 (табл. 45).

В среднем увеличение плотности на 0,01 г/см³ ведет к снижению урожая зеленой массы на 10–12 ц/га.

Большое научное и практическое значение имеет познание закономерностей изменений, происходящих в почве, уплотненной ходовыми системами сельскохозяйственной техники, во времени, т.е. закономерностей самоуплотнения почвы и разуплотнения ее в результате обработок. В течение

Биологический урожай зеленой массы кукурузы, ц/га*.
Опыт № 2

Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения							
	ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
	2	4	2	4	2	4	2	4
548,8	499,1	454,5	532,2	470,9	407,2	263,8	369,9	350,1
±58,1	±62,7	±55,4	±57,8	±51,3	±53,6	±45,5	±65,7	±39,2

*Доверительный интервал величины урожая при уровне значимости 5%.

Плотность почвы, г/см³. Опыт № 2. Кукуруза. 22–25 августа 1985 г.
Среднее из шести повторностей

Глубина, см	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения			
		ДТ-75		МТЗ-82	
		2	4	2	4
0–10	1,32±0,03	1,37±0,02	1,38±0,06	1,30±0,04	1,32±0,03
10–20	1,39±0,04	1,38±0,03	1,46±0,04	1,33±0,03	1,37±0,04
20–30	1,40±0,03	1,43±0,04	1,48±0,04	1,37±0,03	1,38±0,03
30–40	1,45±0,02	1,43±0,05	1,46±0,03	1,44±0,04	1,45±0,04

Глубина, см	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения			
		Т-150К		К-701	
		2	4	2	4
0–10	1,32±0,03	1,33±0,03	1,37±0,03	1,34±0,02	1,35±0,03
10–20	1,39±0,04	1,39±0,02	1,50±0,03	1,49±0,03	1,55±0,02
20–30	1,40±0,03	1,35±0,03	1,47±0,02	1,41±0,03	1,48±0,03
30–40	1,45±0,02	1,47±0,02	1,42±0,03	1,44±0,02	1,46±0,02

ние вегетационного периода 1984 г. на опыте № 2 проводилось изучение процесса разуплотнения почвы. В феврале 1984 г. внесено 50 т/га птичьего помета. Исследования показали, что существенного разуплотнения почвы летом 1984 г. не произошло.

В пахотном слое повышенное на 20–40% количество фракции крупнее 10 мм в структурном составе сохранилось на всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Максимальная глыбистость отмечалась в мае 1983 г. в нижней части пахотного слоя, она сохранилась и до 1984 г. В связи с внесением органических удобрений весной 1984 г. водопрочность структуры в мае 1984 г. была значительно выше, чем в 1983 г. Таким образом, изменения плотности, твердости, структурного состава, вызванные движителями тракторов, в опыте с кукурузой сохраняются и на следующий год.

Результаты определения физических свойств серой лесной почвы в 1985 г., на второй год после закладки опыта, позволили установить, что произошло разуплотнение подпахотного слоя на всех вариантах (табл. 46). Пахотный слой (0–30 см), уплотненный дву- и четырехкратными проходами тракторов ДТ-75 и МТЗ-82, также разуплотнился. При дву- и четырехкратных проходах К-701 и Т-150К через 2 года после закладки опыта разуплотнения пахотного горизонта не выявлено (за исключением слоя 0–10 см, в котором различий по плотности не было).

В структурном составе почвы на вариантах уплотнения тяжелыми тракторами К-701 и Т-150К преобладают агрегаты крупнее 10 мм, особенно в верхней части пахотного слоя. Водопрочность структуры характеризуется большим разбросом по вариантам опыта, можно отметить лишь тенденцию к сохранению высоких ее значений при четырехкратных проходах тракторов К-701 и Т-150К.

Вывод о том, что серая лесная почва не разуплотнилась через 2 года с момента закладки опыта после проходов тяжелых тракторов Т-150К и К-701, подтверждается и урожайными данными. Снижение урожая зеленой массы кукурузы при четырехкратном проходе трактора Т-150К составляет 367 ц/га по сравнению с контролем, при двукратном проходе трактора К-701 – 105 ц/га, при четырехкратном проходе трактора К-701 – 108 ц/га.

Таким образом, последствия уплотнения после проходов тяжелых тракторов Т-150К и К-701 по влажной серой лесной почве наблюдаются и через 2 года после закладки опыта.

Изучение влияния движителей сельскохозяйственной техники на серую лесную почву и динамики ее разуплотнения при возделывании ярового ячменя

Статистически значимое повышение плотности и твердости под воздействием движителей тракторов в опыте № 3 отмечается до 40 см (табл. 47, 48). Наибольшее уплотнение, так же как в опыте № 2, зафиксировано в слое 10–30 см при четырехкратном проходе тракторов Т-150К и К-701. Плотность почвы повысилась в слоях 10–20 и 20–30 см после проходов этих тракторов до 1,62–1,75 г/см³, т.е. увеличилась на 0,26–0,36 г/см³ по сравнению с контролем. На 0,21–0,23 г/см³ повысилась плотность после дву- и четырехкратных проходов тракторов ДТ-75 и МТЗ-82.

Определение плотности почвы в период вегетации ячменя (26 июня 1984 г. и 27 июля 1984 г.) в пахотном слое показало повышение плотности на контрольном варианте и вариантах с воздействием тракторов ДТ-75 и МТЗ-82. К концу вегетационного периода ячменя очень высокая плотность в пахотном слое наблюдалась на вариантах опыта с воздействием на почву тракторов Т-150К и К-701 (до 1,70–1,79 г/см³ в слое 10–30 см).

Структурное состояние (табл. 49) изучалось в два срока: сразу после посева ячменя (в мае) и непосредственно перед его уборкой (в августе). Изменения в структурном составе почвы, вызванные уплотнением ходовыми системами тракторов, в опыте с ячменем в основном сходны с таковыми в опыте с кукурузой. Так, в слое 0–10 см увеличивается содержание фракции размером более 10 мм в 2 и даже в 3 раза. Содержание агрономически ценных агрегатов снижается на 20–40%. Коэффициент структурнос-

Изменение плотности*, г/см³, серой лесной почвы под воздействием движителей.
Опыт № 3. 1984 г.

Глубина, см	Сроки определения*	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения							
			ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
			2	4	2	4	2	4	2	4
0-10	1	1,26±0,05	1,57±0,04	1,62±0,06	1,44±0,04	1,31±0,07	1,58±0,05	1,71±0,05	1,50±0,05	1,59±0,04
	2	1,41±0,06	1,51±0,05	1,48±0,05	1,56±0,06	1,66±0,04	1,61±0,06	1,66±0,06	1,67±0,04	1,62±0,06
	3	1,29±0,03	1,38±0,06	1,63±0,04	1,39±0,06	1,42±0,03	1,48±0,06	1,51±0,04	1,56±0,05	1,58±0,05
10-20	1	1,39±0,04	1,60±0,04	1,60±0,05	1,57±0,04	1,63±0,06	1,75±0,05	1,62±0,05	1,62±0,05	1,60±0,06
	2	1,38±0,05	1,54±0,05	1,64±0,06	1,62±0,05	1,70±0,05	1,76±0,06	1,62±0,04	1,62±0,04	1,69±0,07
	3	1,48±0,04	1,61±0,06	1,66±0,04	1,60±0,04	1,70±0,06	1,79±0,04	1,61±0,03	1,61±0,03	1,70±0,05
20-30	1	1,43±0,06	1,63±0,05	1,51±0,05	1,57±0,06	1,62±0,05	1,67±0,06	1,69±0,06	1,65±0,05	1,62±0,06
	2	1,37±0,05	1,47±0,06	1,64±0,06	1,59±0,05	1,51±0,03	1,68±0,05	1,70±0,06	1,53±0,06	1,59±0,07
	3	1,48±0,03	1,56±0,06	1,62±0,04	1,56±0,04	1,53±0,05	1,70±0,06	1,76±0,07	1,63±0,06	1,70±0,06
30-30	1	1,54±0,06	1,57±0,07	1,44±0,05	1,54±0,06	1,68±0,07	1,48±0,06	1,58±0,06	1,58±0,06	1,47±0,06
	3	1,54±0,06	1,49±0,06	1,51±0,06	1,53±0,05	1,53±0,04	1,63±0,05	1,56±0,07	1,58±0,05	1,64±0,05
40-50	1	1,56±0,05	1,61±0,06	1,47±0,05	1,55±0,05	1,59±0,06	1,41±0,05	1,52±0,06	1,49±0,03	1,46±0,05
	3	1,59±0,06	1,60±0,07	1,51±0,06	1,50±0,06	1,54±0,07	1,58±0,06	1,57±0,07	1,54±0,06	1,60±0,07
50-60	1	1,50±0,04	1,53±0,07	1,45±0,05	1,51±0,05	1,53±0,05	1,48±0,07	1,49±0,04	1,51±0,06	1,48±0,05
	3	1,55±0,04	1,57±0,06	1,51±0,06	1,48±0,06	1,54±0,04	1,52±0,05	1,47±0,06	1,53±0,05	1,56±0,06

Доверительный интервал величин при уровне значимости 5%.

*1 - 3.05 1984 г.; 2 - 26.06 1984 г.; 3 - 27.07 1984 г.

Изменение твердости под воздействием движителей сельскохозяйственной техники, 10^{-1} мПа. Опыт № 3, ячмень

Глубина, см	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения							
		ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
		2	4	2	4	2	4	2	4
0-5	10±2	18±3	20±4	15±2	21±3	25±4	20±3	21±4	20±3
5-10	11±3	18±3	19±3	18±3	20±4	21±5	20±4	21±3	19±4
10-15	11±2	17±3	17±4	19±3	21±2	19±5	35±5	21±3	19±3
15-20	12±3	24±4	18±5	19±3	19±3	19±4	40±4	30±4	20±4
20-25	23±4	26±3	21±4	22±4	25±4	20±6	40±5	35±5	28±5
25-30	25±3	28±3	21±4	24±3	29±5	28±4	37±5	29±4	30±3
30-35	28±4	31±4	25±4	25±4	33±4	32±4	35±5	32±4	34±5
35-40	32±5	35±3	28±5	28±3	36±5	36±5	35±5	36±5	36±4
40-45	35±4	38±5	31±4	33±4	39±5	39±6	36±6	38±5	38±5
45-50	38±6	40±4	35±6	36±4	44±5	44±4	38±6	40±5	41±5

ти в связи с этим снижается более чем в 2 раза. Отмечается закономерное увеличение глыбистости с увеличением числа проходов тракторов (особенно тяжелых — К-701 и Т-150К). Водопрочность почвенной структуры (сумма агрегатов более 0,25 мм) в вариантах опыта сразу же после уплотнения значительно выше, чем на контроле. Увеличение водопрочности структуры, так же как в опыте с кукурузой, связано с уменьшением порозности агрегатов.

Порозность агрегатов на уплотненных вариантах после уплотнения оказалось значительно меньше, чем на контроле. В слое 0-10 см порозность агрегатов снизилась на 5-6% под действием всех тракторов, кроме МТЗ-82. В нижней части пахотного слоя порозность агрегатов снизилась на 7-8%. Следует отметить большое снижение порозности агрегатов при четырехкратных проходах тракторов.

Однако не столько общая порозность, сколько распределение пор по размерам является важнейшей структурной характеристикой почвы, влияющей на рост и развитие растений. Поэтому по кривым водоудерживающей способности проведен расчет дифференциальной порозности (по формуле Жюрена). Анализ распределения пор по размерам свидетельствует о резком сокращении объема крупных влагопроводящих пор (более 120 мкм, от 120 до 3 мкм) после проходов тракторов (табл. 50). Объем пор менее 3 мкм не меняется под влиянием ходовых систем сельскохозяйственной техники. Как следствие уменьшения объема влагопроводящих пор происходит уменьшение водопроницаемости. На варианте с четырехкратным проходом трактора К-701 водопроницаемость почвы в первые 2 ч наблюдений была ниже в 7 раз, чем на контроле. После 2 ч наблюдений впитывания воды не наблюдалось, водопроницаемость равнялась нулю. Результаты определения параметров структуры в конце вегетационного периода развития ячменя показали, что изменения, вызванные уплотнением ходовых систем тракторов, в основном сохранились.

Изменение состояния структуры серой лесной почвы
при уплотнении тракторами.
Опыт № 3, ячмень, 1984 г.

Срок определения	Глубина, см	Показатели*	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения	
				ДТ-75	
				2	4
Май	0-10	1	25	58	85
		2	1,3	0,6	0,2
		3	25	39	58
		4	40	35	33
	10-20	1	42	77	67
		2	1,0	0,3	0,4
		3	31	51	37
		4	42	34	36
	20-30	1	29	64	67
		2	1,5	0,5	0,4
		3	40	62	43
		4	40	36	34
Август	0-10	1	24	52	60
		2	2,1	0,6	0,5
		3	32	45	48
		4	41	36	37
	10-20	1	34	66	71
		2	1,3	0,4	0,3
		3	38	48	42
		4	41	35	35
	20-30	1	40	56	59
		2	1,0	0,6	0,5
		3	36	34	36
		4	40	—	35

* 1 — содержание агрегатов крупнее 10 мм при сухом просеивании, %; 2 — коэффициент структурности; 3 — содержание водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм, %; 4 — порозность агрегатов, %.

Таким образом, проходы тракторов по влажной серой лесной почве приводят к необратимым в течение вегетационного периода изменениям физических свойств и структуры почвы и как следствие — к снижению урожая ярового ячменя (табл. 51).

При двукратных проходах тракторов МТЗ-82 и ДТ-75 отмечена тенденция к снижению урожая зерна ячменя. Значительное снижение отмечено при четырехкратных проходах всех тракторов, но особенно Т-150К и К-701, снижение урожая составляет 40—52% по сравнению с контролем. В среднем увеличение плотности серой лесной почвы на 0,01 г/см³ ведет к снижению урожая ярового ячменя на 0,6 ц/га.

В 1985 г. на опыте № 3 также возделывался ячмень. Результаты определения физических свойств серой лесной почвы в этом опыте в 1985 г. позво-

Варианты опыта, кратность уплотнения

МТЗ-82		Т-150К		К-701	
2	4	2	4	2	4
53	64	74	87	70	67
0,6	0,4	0,3	0,1	0,3	0,2
34	40	49	55	45	48
38	—	36	34	34	35
60	68	61	86	67	75
0,4	0,4	0,4	0,1	0,4	0,2
45	48	45	58	46	65
35	—	37	35	36	34
61	63	68	89	75	67
0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4
46	62	49	55	47	59
37	—	37	36	37	—
52	59	62	73	61	74
0,7	0,5	0,4	0,2	0,5	0,3
37	40	46	51	38	53
39	37	35	34	37	34
58	73	74	86	75	89
0,5	0,3	0,3	0,1	0,3	0,1
25	50	48	68	47	58
37	36	34	33	36	32
43	60	76	78	72	83
0,7	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2
29	54	48	59	48	66
36	39	35	33	37	33

лили установить, что разуплотнения пахотного горизонта не произошло (табл. 52).

Различия по плотности почвы между вариантами опыта с двукратным проходом тракторов ДТ-75 и МТЗ-82 и контролем фиксируются на глубине 10–20 см ($0,09 \text{ г/см}^3$). При четырехкратном проходе этих тракторов различия по плотности с контролем отмечены на глубину до 20–30 см (плотность почвы увеличивается на $0,15\text{--}0,17 \text{ г/см}^3$ по сравнению с контролем). На вариантах с проходами тракторов К-701 и Т-150К наблюдается уплотнение слоя 0–30 см (за исключением варианта с двукратным проходом трактора К-701). Плотность почвы на этих вариантах опыта в слое 10–30 см выше на $0,15\text{--}0,20 \text{ г/см}^3$ по сравнению с контролем.

Определение водопроницаемости также показало существенные различия

Изменение дифференциальной порозности (г воды: г почвы)
серой лесной почвы при уплотнении тракторами

Глубина, см	Тип трактора, кратность уплотнения	Размер пор, мкм				
		>60	60–30	30–10	10–3	< 3
0–10	Контроль	15,6	3,3	5,4	12,8	20,0
	МТЗ-82, двукратное	8,9	1,8	3,0	6,4	20,0
	Т-150К, четырехкратное	9,5	2,0	3,3	3,7	20,0
	К-701 "	9,7	1,6	2,7	3,0	20,0
10–20	Контроль	10,2	2,4	4,8	11,8	20,0
	МТЗ-82, двукратное	8,4	2,2	4,0	3,8	20,0
	Т-150К, четырехкратное	5,4	1,4	3,4	3,8	20,0
	К-701 "	3,8	0,9	2,1	3,0	20,0

по вариантам опыта. На контроле водопроницаемость за шестой час наблюдений составила 0,63 мм/мин, а на делянке, укатанной четырехкратным проходом трактора К-701 – 0,21 мм/мин.

Сравнение результатов изучения структуры почвы сразу после уплотнения и через год показало, что состояние почвенной структуры на уплотненных делянках в значительной мере сохраняется. По содержанию глыбистой фракции (> 10 мм) различия фиксируются на глубинах 0–20 см, на глубине 20–30 см они сглаживаются. Величины водопроцности структуры остались практически на том же уровне.

Вывод о том, что серая лесная почва не разуплотнилась и на второй год с момента закладки опыта после дву- и четырехкратных проходов тракторов Т-150К и К-701 подтверждается и урожайными данными (см. табл. 51). После двукратных проходов тракторов Т-150К и К-701 снижение урожая ячменя составляет соответственно 8 и 10 ц/га по сравнению с контролем; после четырехкратных проходов этих тракторов снижение урожая ячменя – соответственно 10 и 13 ц/га.

Проведенные исследования по влиянию ходовых систем сельскохозяйственной техники на физические свойства и плодородие серых лесных почв позволили сделать следующие выводы.

1. Воздействие ходовых систем тракторов, особенно К-701 и Т-150К, приводит к уплотнению серой лесной почвы на глубину до 30–40 см. При этом ухудшается структурное состояние почвы, повышается твердость, снижается пористость.

2. Степень воздействия ходовых систем тракторов на почву, изменение ее физических свойств определяется генетическими особенностями почвы, влажностью и агрономическим фоном в момент воздействия.

3. Уплотненная при влажности 0,6–0,7 НВ под посев озимой пшеницы серая лесная почва с хорошим агрофоном (заправленная высокой дозой органических удобрений) саморазуплотнилась за осенне-зимне-весенний

Таблица 51

Биологический урожай зерна ячменя при уплотнении почв ходовыми системами тракторов, ц/га*

Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения							
	ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
	2	4	2	4	2	4	2	4
1984 г., 37,0±3,0	33,5±3,0	25,1±4,2	32,7±4,6	22,5±3,1	27,3±4,9	17,7±3,2	26,2±4,1	20,7±3,5
1085 г., 34,5±3,1	33,4±3,5	36,8±3,8	35,9±3,6	31,5±2,9	26,7±3,2	21,9±2,8	24,8±3,0	24,1±2,8

* Доверительный интервал величины урожая при уровне значимости 5%.

Таблица 52

Плотность почвы (ячмень), г/см³. 31 июля—2 августа 1985 г.

Глубина, см	Контроль	Варианты опыта, кратность уплотнения							
		ДТ-75		МТЗ-82		Т-150К		К-701	
		2	4	2	4	2	4	2	4
0-10	1,26±0,04	1,34±0,04	1,22±0,04	1,24±0,03	1,42±0,08	1,29±0,05	1,47±0,05	1,30±0,04	1,31±0,04
10-20	1,40±0,05	1,35±0,03	1,48±0,04	1,49±0,05	1,63±0,04	1,57±0,04	1,55±0,04	1,31±0,04	1,60±0,05
20-30	1,42±0,04	1,45±0,04	1,59±0,05	1,49±0,04	1,57±0,03	1,53±0,04	1,52±0,03	1,32±0,03	1,61±0,05
30-40	1,56±0,03	1,53±0,03	1,53±0,04	1,53±0,03	1,54±0,04	1,54±0,04	1,54±0,04	1,54±0,04	1,53±0,04

период. Саморазуплотнение наблюдалось как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах, что привело к выравниванию урожая по вариантам опыта (40–46 ц/га).

4. Серая лесная почва, уплотненная весной при влажности 0,9–1,0 НВ, не разуплотнилась в пределах пахотного слоя за вегетационный период, особенно в вариантах с воздействием ходовых систем тракторов Т-150К и К-701, что привело к значительному снижению урожая зеленой массы кукурузы (на 26–52%) и ярового ячменя (30–52%).

5. Уплотнение почвы при влажности, близкой к НВ, приводит к необратимым изменениям состава и качества структуры: к образованию глыбистой малопористой структуры, к снижению общей, агрегатной и межагрегатной пористости.

6. Изменения, вызванные уплотняющим воздействием ходовых систем тракторов МТЗ-82, ДТ-75 сглаживаются на третий год после уплотнения, а тракторов Т-150К и К-701 – в значительной степени сохраняются.

ЧЕРНОЗЕМНЫЕ ПОЧВЫ ЦЧО

Типичные и обыкновенные черноземы ЦЧО (Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Тамбовская области) отличаются высоким природным плодородием, которое сохраняется в условиях культурного земледелия (Кузнецова, 1967; Медведев и др., 1983).

Влияние уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на изменение свойств черноземных почв ЦЧО и урожайность сельскохозяйственных культур рассмотрено на примере типичных мощных черноземов Курской области (Петринский опорный пункт Почвенного института им. В.В. Докучаева) и обыкновенных черноземов Воронежской области (опыты НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева). Обе почвы обладают благоприятными физическими свойствами и могут быть приняты по этим показателям за эталоны почв с высоким уровнем плодородия.

Типичные мощные черноземы Курской области по механическому составу – тяжелые иловато-крупнопылеватые суглинки. Содержание "физической глины" составляет в них 48–51%, содержание илистой фракции – 25–30%. Мощность гумусированного слоя ($A_1 + B_1$) 105–130 см. Содержание гумуса в пахотном слое составляет около 5,5–6,0% и очень постепенно падает с глубиной. Сумма поглощенных оснований – 32–37 мг-экв/100 г почвы, $pH_{\text{соль}}$ 6,8.

Наши исследования в период 1964–1968 гг. и в 1983 г. показали, что типичные черноземы обладают оптимальным и относительно устойчивым во времени сложением пахотного слоя. Плотность почвы после зяблевой вспашки составляет 0,84–0,98 г/см³, а под различными сельскохозяйственными культурами в конце вегетационного периода, как правило, не превышает 1,15–1,17 г/см³. Наибольшее уплотнение (1,20–1,25 г/см³) отмечено под клевером второго года жизни.

Верхняя граница оптимальной плотности¹ этих почв, рассчитанная по формуле С.И. Долгова, И.В. Кузнецовой, С.А. Модиной (1970), состав-

¹ Верхняя граница оптимальной плотности соответствует плотности, при которой при насыщении почвы водой до наименьшей влагоемкости содержание воздуха в ней составляет не менее 15% (Долгов и др., 1970).

ляет 1,17–1,18 г/см³. Сопоставление этой величины с плотностями пахотного слоя под различными сельскохозяйственными культурами в конце вегетационного периода показывает, что равновесные плотности сложения пахотного слоя типичных черноземов совпадают с оптимальными для роста и развития растений плотностями. Небольшая динамика плотности пахотного слоя в течение вегетационного периода также свидетельствует об относительной устойчивости сложения этих почв.

Общая пористость пахотного слоя типичного чернозема изменяется в течение вегетационного периода от 62–64 до 56–58%. Водно-физические свойства почв благоприятны. Установившаяся величина водопроницаемости этих почв составляет 60–80 мм/ч. Высокая и устойчивая во времени водопроницаемость также служит подтверждением относительной устойчивости сложения этих почв. Наименьшая влагоемкость в пахотном слое составляет 32–35% от массы почвы, в подпахотном – 30–32%. Диапазон активной влаги 18–23%.

Одной из причин устойчивости сложения пахотного слоя типичных черноземов является высокая механическая прочность и водопрочность структуры этих почв. Содержание структурных отдельностей более 0,25 мм, определяемых методом сухого просеивания, составляет в них 90–99%, 45–65% из которых – водопрочные агрегаты размером более 0,25 мм (определенные по методу Н.И. Саввинова).

Содержание в пахотном слое водопрочных агрегатов более 0,25 мм, равное 40–45%, является, по нашему мнению, нижним пределом, обеспечивающим оптимальное для произрастания сельскохозяйственных культур и устойчивое во времени сложение почв тяжелого механического состава (Кузнецова, 1967).

Подтверждением благоприятных физических свойств типичных черноземов при достаточно высоком уровне питательных веществ являются высокие урожаи зерновых, получаемые на опытных станциях и в передовых хозяйствах в благоприятные по погодным условиям годы: порядка 40–46 ц/га зерна озимой пшеницы.

Уплотняющее действие сельскохозяйственной техники на типичные мощные черноземы показано на примере изменения свойств этих почв под влиянием наиболее легкого трактора "Беларусь" (Музычкин и др., 1968; Кузнецова, 1978). Наблюдения проводились в полевом опыте, заложенном в 1964 г., по изучению возможности минимализации междурядных обработок кукурузы при применении гербицидов для борьбы с сорняками. Изучались два варианта: посев монокультуры кукурузы с обычной в течение лета обработкой почвы, т.е. тремя летними культивациями междурядий на глубину 7–8 см и двумя ручными прополками в рядках, и посев монокультуры кукурузы без междурядных обработок с применением симазина. Площадь опытных делянок 280 м², повторность – четырехкратная.

При изучении физических свойств почв был использован траншейный метод: в каждом варианте обработок физические свойства изучались через каждые 10 см по траншее, идущей поперек трех междурядий, по одному из которых проходило колесо трактора "Беларусь".

Детальное определение плотности почвы на участках с междурядной обработкой посева в разные сроки вегетационного периода (табл. 53) показало, что в слое 7–14 см в междурядьях, по которым проходили

Плотность, г/см³, типичного чернозема на глубине 7–14 см в обычном междурядье и по следу колеса трактора "Беларусь". 1966 г.

Статистические показатели плотности*	14 мая, после посева		1 июня, после второй вакации		2 июля, 2 недели третьей вакации		2 августа, перед уборкой на силос	
	1**	2***	1	2	1	2	1	2
<i>M</i>	1,07	1,23	1,08	1,28	1,01	1,23	1,06	1,30
<i>m</i>	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
<i>P</i>	1,12	1,95	1,66	1,62	1,98	2,35	1,69	1,53
<i>v</i>	4,29	3,33	6,29	1,09	6,63	4,06	6,03	2,61
<i>t</i> ₁₋₂		5,97		10,15		6,25		8,92

* *M* – среднее арифметическое, г/см³; *m* – средняя ошибка, г/см³; *v* – коэффициент вариации, %; *P* – точность опыта, %; *t*₁₋₂ – достоверность разницы средних.
 ** В междурядье.
 *** По следу колеса.

колеса трактора "Беларусь" во время сева и последующих культиваций, плотность почвы была значительно выше, чем в междурядьях, по которым проходили только лапки культиватора.

После сева плотность почвы в междурядье по следу от колеса трактора составила 1,23 г/см³, т.е. превышала верхнюю границу оптимальной плотности, в то время как в обычном междурядье она равнялась 1,07 г/см³. В конце вегетационного периода, перед уборкой кукурузы на силос, эти различия были еще более значительными: 1,30 и 1,06 г/см³ соответственно. Уплотнение почвы по следу колеса трактора на глубине 7–14 см после посева кукурузы повысилось на 13% по сравнению с исходной величиной, после междурядных культиваций в августе – на 22%. Аналогичные данные получены многими советскими и зарубежными исследователями, показавшими, что уплотнение почвы колесами трактора на глубине 7–10 см повышается от 9 до 23%.

Следует отметить, что наибольшее уплотнение почвы произошло весной, когда влажность пахотного слоя составляла 26–28%. В дальнейшем, при культивациях, когда влажность почвы снизилась до 19–21%, нарастание плотности продолжалось, но было менее значительным.

Математическая обработка полученных данных показала, что в варианте с летними культивациями кукурузы величина плотности пахотного слоя в междурядье, по которому проходят колеса трактора, и плотность почвы в междурядье, которое подвергалось только рыхлящему действию лапок культиватора, имеют достоверные различия.

Таким образом, каждый проход трактора по полю во время культивации дает разрыхление верхнего 7–8-сантиметрового слоя почвы, но вместе с тем сопровождается уплотнением средней части пахотного слоя, которое наблюдается примерно на 29% площади. По следу колес трактора изменяются и другие физические свойства типичных черноземов, тесно связанные с плотностью почвы. Снижается величина общей порозности, которая составляет 58–60% в слое 7–14 см на обычных междурядьях и только 49–52% под следом колеса трактора. Изменения плотности и величины общей по-

розности сказываются на водно-физических свойствах почв. Особенно резко реагирует на уплотнение величина водопроницаемости почв. Водопроницаемость почв с поверхности, определенная методом трубок Н.А. Качинского, в междурядьях, по которым проходят колеса трактора, составляет всего 1,8 мм/мин, в то время как на обычных междурядьях — 22,2 мм/мин.

Еще более значительно сказываются проходы колес трактора по полю на величине твердости почвы. Твердограммы, выполненные на делянке с обычной междурядной обработкой кукурузы, показывают, что по следу колес трактора уже в мае после посева (рис. 11) с глубины 7–8 см выделялась зона повышенной твердости — 20–30 кг/см². Твердость почвы в междурядье, по которому не проходили колеса трактора, в это же время составляла 10–15 кг/см².

После третьей культивации по следу колеса выделяется зона высокой твердости: 40–50 кг/см² на глубине 7–8 см и 50–60 кг/см² на глубине 25 см. В это же время в связи с уменьшением влажности почвы с 26–29% в мае до 22–24% в июне в междурядье, где колеса трактора не проходили, твердость тоже увеличивается, но остается значительно ниже, чем по следу от колеса.

В августе к моменту уборки кукурузы на силос при уменьшении влажности до 15–17% твердость по следу от колеса трактора глубже 10–12 см возрастает до 50–60 кг/см². Твердость почвы в междурядье, где колесо трактора не проходило, составляла на этой глубине 10–30 кг/см².

В те же сроки наблюдения на делянках без междурядных культиваций посевов (рис. 12) твердость почвы практически при той же влажности, что и на делянке с культивациями, была значительно ниже. Хотя и в этом случае проход колес трактора весной во время сева и следующего за ним через 7–10 дней внесения гербицидов создал также зону повышенной твердости, которая четко наблюдалась до конца опыта.

Таким образом, на типичных мощных черноземах с устойчиво благоприятными физическими свойствами даже однократный проход самого легкого трактора "Беларусь" при высоком увлажнении вызывает деформацию пахотного слоя почвы.

Анализ урожайных данных (Кузнецова, 1978) показал, что уплотнение почвы до 1,23–1,30 г/см³ в междурядьях, по которым проходили колеса трактора "Беларусь" и которые занимают примерно 29% площади делянок, не приводит к снижению урожая монокультуры кукурузы на площади делянки в целом. Так, урожай початков кукурузы на делянках с междурядной обработкой в 1964 г. составил 57,8 ц/га, на участке без обработок с применением симазина — 60,5 ц/га. В 1965 г. урожай зеленой массы кукурузы составил соответственно 286 и 343 ц/га. В последующие 2 года урожай зеленой массы кукурузы на делянках с обработками составил 265 и 392 ц/га, на делянках без обработок — 224 и 337 ц/га. Снижение урожая в эти годы на делянках без междурядных обработок, по-видимому, вызвано токсичностью высоких доз симазина (40 кг/га действующего вещества за 4 года). В среднем за 4 года урожай кукурузы на обоих вариантах опыта (с междурядными культивациями и без них) были практически одинаковыми: средний выход кормовых единиц с 1 га составил 65,5 и 67,2 ц/га соответственно.

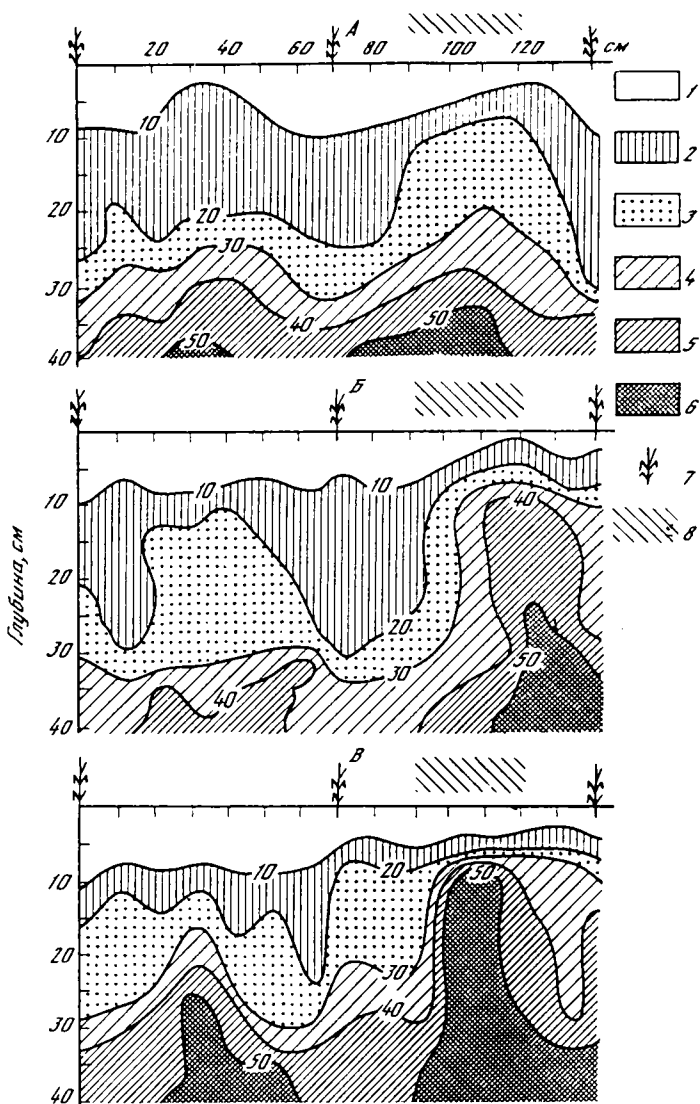


Рис. 11. Твердость типичного мощного чернозема на участке с обычной междурядной обработкой кукурузы

А — через две недели после посева (14 мая); Б — после третьей культивации междурядий (20 июня); В — перед уборкой кукурузы (1 августа). Твердость почвы, кг/см²: 1 — < 10; 2 — 10–20; 3 — 20–30; 4 — 30–40; 5 — 40–50; 6 — > 50; 7 — ряд кукурузы; 8 — след от колеса трактора

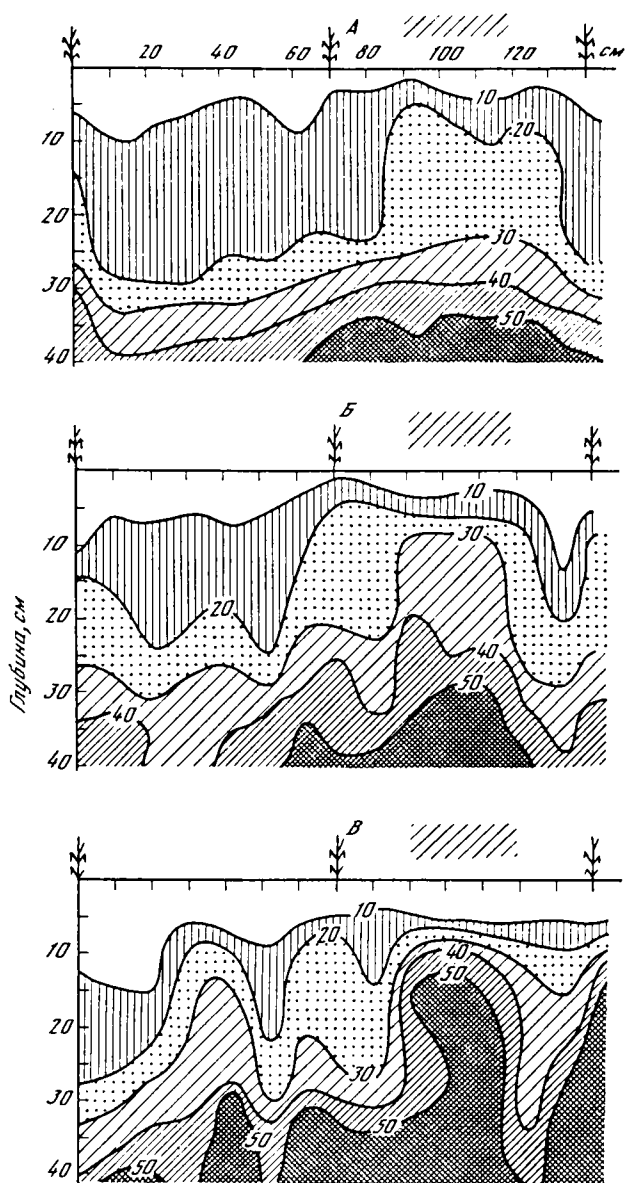


Рис. 12. Твердость типичного мощного чернозема на участке без междурядных обработок кукурузы
Усл. обозначения см. на рис. 11

Одинаковыми были урожаи кукурузы и в условиях производственного опыта, проведенного в 1965 г. (392 ц/га зеленой массы кукурузы на варианте с культивациями и 372 ц/га без культиваций).

Отсутствие существенных различий в физических свойствах и урожайности кукурузы на вариантах опыта с междурядными обработками и без обработок с применением симазина позволило рекомендовать сокращение, а в отдельные годы и отмену летних культиваций пропашных культур на типичных черноземах на чистых от сорняков полях или при применении гербицидов.

В 1983 г. в опыте по минимализации междурядных обработок монокультуры кукурузы, заложенном в 1964 г., были проведены повторные определения физических свойств типичных черноземов. Плотность почвы в пахотном слое (табл. 54) в сентябре после уборки кукурузы была более высокой на делянках, на которых в летний период в течение 19 лет проводилось 2–3 культивации междурядий, что, вероятно, связано со смещением в разные годы междурядий, по которым идут колеса трактора во время культиваций, в результате чего постепенно уплотнилась вся площадь делянки.

На этом варианте опыта плотность почвы в слое 0–20 см составляла 1,23–1,25 г/см³, т.е. превышала верхнюю границу оптимальной плотности почв; на варианте без междурядных культиваций – 1,07–1,14 г/см³, т.е. была в интервале оптимальных значений плотности этих почв. Вместе с тем как в том, так и другом варианте опыта отмечается высокое уплотнение почвы в междурядьях по следу колес трактора "Беларусь", более значительное на делянках с междурядными обработками, т.е. там, где за сезон было на 2–3 прохода трактора больше. Плотность почвы по следу колес в слое 0–10 см составила соответственно 1,32 и 1,27 г/см³. Уплотняющее воздействие трактора "Беларусь" распространяется на глубину пахотного слоя (22–25 см).

Средние значения урожая зеленой массы монокультуры кукурузы за 19-летний период по вариантам опыта с междурядными обработками и без них оказались одинаковыми и составили около 300 ц/га.

Аналогичные данные по уплотнению почвы колесами машинно-тракторных агрегатов (МТА) получены в 1983 г. на поле опытной станции после уборки яровой пшеницы. По следу колес МТА плотность почвы составила 1,17–1,20 г/см³, на участках поля без следов от колес – 1,10 г/см³.

Максимальное уплотнение типичного чернозема отмечено нами на защитной полосе опытного поля, по которой весной и осенью, в том числе и по влажной почве, проходят машинно-тракторные агрегаты. Плотность пахотного слоя с поверхности (0–10 см) достигала здесь 1,46 г/см³ (табл. 55), уплотнение не отразилось на плотности подпахотных горизонтов.

Материалы наблюдений 1964 и 1983 гг. показывают, что изменение плотности типичных черноземов при разовом воздействии легких колесных тракторов типа "Беларусь" носит, как правило, обратимый характер. В результате обработок и саморазуплотнения под влиянием естественных факторов типичные мощные черноземы, уплотненные до 1,22–1,25 г/см³, разуплотняются до оптимальных значений (1,15–1,17 г/см³). При более значительном уплотнении (1,27–1,32 г/см³ и выше) разуплотнение типич-

**Плотность, г/см³, типичного чернозема
в опыте по изучению минимализации междурядных обработок.
Сентябрь 1983 г.**

Горизонт, глубина, см	Обычная обработка		Без междурядных культиваций	
	в междурядье	по следу колеса	в междурядье	по следу колеса
A _{II} 0-10	1,25	1,32	1,14	1,27
10-20	1,23	1,23	1,04	1,19
20-25	1,13	1,16	1,07	1,11
A _I 25-30	1,01	1,04	1,03	1,02
35-40	0,99	0,98	0,98	1,00
50-55	1,01	—	1,06	—

Таблица 55

**Плотность и пористость типичного чернозема
на временной полевой дороге**

Горизонт, глубина, см	Плотность г/см ³	Общая пористость, %	Горизонт, глубина, см	Плотность г/см ³	Общая пористость, %
A _{II} 0-10	1,46	43,4	B ₁ 70-75	1,09	57,3
10-20	1,34	48,0	90-95	1,15	55,1
20-25	1,20	53,2	B ₂ 120-125	1,15	55,1
A _I 25-30	1,05	58,8	B ₂ /C 150-155	1,10	56,9
35-40	0,99	61,0	200-205	1,18	54,0
50-55	1,02	59,9	220-225	1,34	48,0

ных черноземов происходит, но плотность почвы не достигает оптимальных значений.

Это положение подтверждается результатами модельного опыта по изучению саморазуплотнения типичных черноземов в процессе набухания—усадки. По данным опыта, критическое уплотнение этих почв, т.е. плотность, выше которой они не саморазуплотняются до оптимальных значений, составляет 1,25 г/см³.

В исследованиях М.А. Шипилова (1982, 1983) в 1979—1981 гг. изучалось влияние ходовых систем тракторов на изменение свойств обыкновенного чернозема ЦЧЗ и урожай ячменя и озимой пшеницы (в последствии).

Обыкновенные черноземы Воронежской области по механическому составу относятся также к тяжелым суглинкам, но отличаются более высоким по сравнению с типичными черноземами содержанием физической глины (58—59%) и илистой фракции (29—31%). Содержание гумуса в пахотном слое 7,3%, в подпахотном — 4,5—5,5%; рН_{сол} 6,6; сумма поглощенных оснований 54,7 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности основаниями 96%.

Повышенное содержание гумуса и более тяжелый механический состав обыкновенных черноземов определяют особенности физических свойств этих почв. Плотность пахотного слоя после зяблевой вспашки составляет 0,88–0,91 г/см³, равновесная плотность – 0,95–1,05 г/см³. Общая пористость 62–65%. Равновесная плотность соответствует оптимальной плотности почв, верхняя граница которой составляет для этих почв 1,05–1,08 г/см³, что значительно ниже, чем в типичных черноземах. Водно-физические свойства почв благоприятны: водопроницаемость в слое 0–10 см 1,3–0,6 мм/мин; наименьшая влагоемкость 37–40% от массы почвы. Содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм повышается до 73%.

В специальных модельно-полевых опытах изучалось влияние сплошного укатывания почвы тракторами ДТ-75, МТЗ-80, К-701 при 1-кратных и Т-150К при 1-, 3-, 5-кратных проходах при весенней обработке. Влажность почвы при закладке опыта 34–37% (~ 0,9 НВ). Площадь опытных делянок 480 м²; учетная площадь 100 м²; повторность – четырехкратная.

Исследования М.А. Шипилова показали (табл. 56), что при однократных весенних проходах тяжелых колесных тракторов К-701 и Т-150К по полю с влажностью 0,8–0,9 НВ физические свойства почв изменяются на глубину до 40 см, при многократных – на глубину до 50 см. При уплотнении почвы тракторами МТЗ-80 и ДТ-75 изменения физических свойств менее значительны и распространяются до глубины 30 см.

В конце вегетационного периода 1979 г. (Шипилов, 1982) плотность почвы при уплотнении трактором ДТ-75 составила 1,14–1,20 г/см³; при уплотнении трактором МТЗ-80 – 1,18–1,24 г/см³; трактором Т-150К – 1,24–1,35 г/см³ и трактором К-701 – 1,27–1,38 г/см³. На контроле плотность почвы в этот период составляла 0,95–1,0 г/см³.

Пористость почвы в пахотном слое уменьшилась с 62–65% на контроле до 54–58% при уплотнении тракторами ДТ-75 и МТЗ-80 и до 49–50% при уплотнении тракторами Т-150К и К-701; при многократном проходе последних – до 48–53%. При этом пористость аэрации уменьшилась соответственно до 17–19; 14–15 и 10–12% при 30–35% на контроле.

После уплотнения автор отмечает значительное ухудшение качества предпосевной подготовки почвы. Глыбистость почвы перед посевом, составляющая на контроле 2,5%, на вариантах с однократным уплотнением увеличилась до 7,6–12,7%, при многократном – до 17,8–21,3%. Пористость агрегатов сократилась на 5–8% (от 41,4 до 34,7%), что послужило причиной увеличения водопрочности почвенной структуры, определенной по методу Саввинова. Содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм увеличилось на вариантах с уплотнением до 80% против 73% на контроле. Как и на типичных черноземах, при уплотнении обыкновенных черноземов резко (в 2–3 раза) увеличилась твердость почв. В период кущения ячменя она достигала 30–40 кг/см².

В связи с увеличением глыбистости и твердости отмечалась большая неравномерность в глубине заделки семян (0–6 см), что отрицательно сказывалось на последующем развитии растений и увеличивало засоренность посевов.

В связи с уменьшением общей пористости почв на уплотненных делянках резко снижалась величина водопроницаемости. Так, если на контроле в первые 6 ч наблюдений в слое 0–10 см она составляла 1,3–0,6 мм/мин,

Плотность почвы в период вегетации ячменя
по вариантам опыта, г/см³, в среднем за 1979–1980 гг.
(по Шипилову, 1983)

Слой почвы, см	Без уплотнения (контроль)	ДТ-75	МТЗ-80	К-701	Т-150К			НСР _{0,5}
		1*	1	1	1	3	5	
Посев–всходы								
0–10	0,88	1,09	1,09	1,17	1,17	1,18	1,20	0,04–0,06
10–20	0,91	1,09	1,12	1,15	1,14	1,21	1,21	
20–30	0,99	1,11	1,11	1,14	1,14	1,21	1,17	
30–40	1,06	1,10	1,13	1,16	1,17	1,17	1,15	
40–50	1,10	1,16	1,19	1,19	1,23	1,20	1,21	
Восковая спелость								
0–10	0,93	1,12	1,18	1,30	1,24	1,24	1,29	0,05–0,06
10–20	1,00	1,19	1,26	1,34	1,30	1,33	1,34	
20–30	1,05	1,16	1,22	1,31	1,31	1,32	1,28	
30–40	1,08	1,15	1,15	1,21	1,20	1,20	1,18	
40–50	1,20	1,18	1,26	1,26	1,26	1,19	1,24	

* Число проходов по одному месту.

то на делянках с уплотнением снижалась до 0,010–0,012 мм/мин. При увеличении плотности пахотного слоя до 1,2–1,3 г/см³ водопроницаемость практически прекращалась.

Содержание доступной растениям влаги в метровом слое в период всходов ячменя на вариантах с разным уплотнением было на 17–40 мм меньше, чем на контроле. Более высокое содержание доступной растениям влаги на контроле сохранялось в период кущения и восковой спелости. Запас влаги в метровом слое в начале весенней вегетации озимой пшеницы на уплотненных вариантах также был более низким, чем на контроле.

При уплотнении обыкновенных черноземов вследствие нарушения воздухообмена происходит снижение биологической активности почв. Так, в уплотненной почве наблюдалось снижение интенсивности выделения СО₂ и уменьшение численности основных групп микроорганизмов соответственно на 25–30 и 45–50%. Ухудшался и пищевой режим почв.

Опыты М.А. Шипилова показали, что саморазуплотнение обыкновенных черноземов после уплотнения трактором К-701 (плотность > 1,3 г/см²) под действием естественных факторов происходит очень медленно и затягивается на несколько лет. Полного разуплотнения на следующий год не происходит даже при проведении вспашки на 20–22 см и культиваций. Сохраняется глыбистость. Весной следующего года плотность отдельных глыб достигала 1,2–1,3 г/см³, а плотность почвы на уплотненных делянках была на 0,05–0,12 г/см³ выше, чем на контроле.

Приведенные в табл. 57, 58 данные показывают, что урожайность зерновых культур в опыте с уплотнением определяется степенью уплотнения поч-

Таблица 57

Урожайность ячменя по вариантам опыта (Шипилов, 1983), ц/га

Марка трактора	Кратность проходов	1978 г.	1979 г.		1980 г.		Среднее (без удобрений)	
		Без удобрения	Без удобрения	(NPK) ₆₀	Без удобрения	(NPK) ₆₀	ц/га	%
Контроль	1	46,1	32,5	37,5	42,2	47,5	40,3	100,0
ДТ-75	1	44,1	24,8	34,0	41,1	46,4	36,5	90,6
МТЗ-80	1	46,5	25,9	32,2	42,0	46,6	38,1	94,5
К-701	1	45,5	20,6	30,6	39,3	47,4	35,1	87,1
Т-150К	1	43,8	20,6	31,5	39,2	45,4	34,5	85,6
	3	40,8	12,0	15,7	39,8	46,2	30,9	76,7
НСР _{0,5}	5	41,7	8,4	10,1	38,9	46,2	29,7	73,7
		2,7	4,1	4,3	2,7	1,6	—	—

Таблица 58

Урожайность озимой пшеницы, ц/га, по вариантам опыта (Шипилов, 1983)

Марка трактора	Кратность проходов	1979 г.	1980 г.		1981 г.		Среднее (без удобрений)	
		Без удобрения	Без удобрения	(NPK) ₆₀	Без удобрения	(NPK) ₆₀	ц/га	%
Контроль	1	32,3	26,5	28,5	34,3	40,1	31,0	100,0
ДТ-75	1	30,9	27,5	29,1	34,2	37,4	30,9	99,7
МТЗ-80	1	32,8	29,5	30,3	30,0	39,6	30,8	99,4
К-701	1	30,0	25,7	27,8	30,0	38,7	28,6	92,3
Т-150К	1	30,8	28,4	29,1	30,4	37,2	29,9	96,5
	3	29,7	32,3	35,0	32,4	37,0	31,5	101,6
НСР _{0,5}	5	29,1	34,8	37,7	28,6	35,5	30,8	99,4
		2,3	3,0	1,9	3,6	2,7	—	—

вы и погодными условиями года. Отрицательное влияние уплотнения на свойства почв, и в первую очередь на влагообеспеченность растений, усугубляется в засушливые годы, а во влажные в той или иной степени компенсируется выпадающими осадками и поэтому не всегда отражается на урожае сельскохозяйственных культур¹.

Снижение величины урожая ячменя под влиянием уплотняющего воздействия тракторов всех марок: ДТ-75, МТЗ-80, К-701 и Т-150К наблюдалось только в засушливом 1979 г. После однократного прохода тракторов ДТ-75 и МТЗ-80 урожай ячменя снизился на 20,3–23,5%, тракторов К-701 и Т-150К – на 36,6%. Во влажные годы (1978, 1980 гг.) снижение

¹ В годы с обильным выпадением осадков в летний период, по-видимому, имеют значение и более интенсивно идущие процессы саморазуплотнения почв.

урожая ячменя отмечено только при воздействии тяжелых колесных тракторов К-701 и Т-150К (на 6,9–7,1% после однократного их прохода и на 9,5–14,1% после многократных). Уплотнение почвы тракторами ДТ-75 и МТЗ-80 во влажные годы на урожае не отразилось.

В последствии уплотнения урожайность озимой пшеницы в засушливые годы (1979, 1981 г.) снижалась только при уплотнении почвы тяжелыми колесными тракторами. Во влажный год (1980 г.) урожай озимой пшеницы по ячменю на уплотненных делянках был даже несколько выше, чем на контроле, так и автор объясняет как благоприятными погодными условиями, так и более благоприятным питательным режимом в этом варианте опыта из-за неполного использования питательных веществ в 1979 г. плохо развитыми растениями ячменя. Внесение минеральных удобрений несколько снижает негативное влияние уплотнения на урожай (см. табл. 57 и 58).

Проверка в производственных условиях в 1981 г. показала, что урожайность ячменя при использовании на посеве трактора ДТ-75 была на 9,4–10,9% (1,9–2,24 ц/га) выше, чем при использовании тяжелых колесных тракторов. По подсчетам М.А. Шипилова, в результате уплотнения обыкновенного чернозема колесами трактора Т-150К урожай зерна с учетом действия и последствия уплотнения снижался в среднем на 12,4%.

Таким образом, анализ уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на физические свойства типичных и обыкновенных черноземов ЦЧО показывает, что и на этих почвах с устойчиво благоприятными физическими свойствами даже однократный проход тракторов ДТ-75 и МТЗ-80 по полю при высоком (весеннем) увлажнении вызывает деформацию пахотного слоя почвы. По следу колес трактора увеличивается плотность почвы, уменьшается общая порозность, резко снижается водопроницаемость, значительно увеличивается глыбистость и твердость почвы. При многократных проходах трактора во время последующих обработок деформации в почве увеличиваются, но уплотняющее воздействие МТА при снижении влажности до 0,6–0,7 НВ уменьшается.

В засушливые годы изменение свойств почв вследствие уплотнения при весенней обработке тракторами ДТ-75 и МТЗ-80 приводит к снижению урожаев сельскохозяйственных культур. В годы с достаточным и повышенным увлажнением изменение свойств черноземных почв при уплотнении тракторами этих марок на урожае не отражается.

Воздействие тяжелых колесных тракторов типа К-701, Т-150К на влажную почву приводит к еще более значительным деформациям пахотного слоя и снижению урожая сельскохозяйственных культур, особенно значительному в засушливые годы. Необходимо исключить применение тракторов К-701 и Т-150К на весенних полевых работах на типичных и обыкновенных черноземах ЦЧО.

Представляется необходимым также по возможности сокращать число проходов по полю любых машинно-тракторных агрегатов. За счет агрономически целесообразного совмещения различных операций за один проход трактора, учитывая большую мощность современных двигателей, следует сокращать или отменять отдельные виды обработок на черноземных почвах с благоприятными физическими свойствами на чистых от сорняков полях; погрузочно-разгрузочные работы при посеве и уборке урожая следует проводить на краю полей.

ЧЕРНОЗЕМЫ УКРАИНЫ

Восточная левобережная лесостепь

В проблеме взаимодействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов (МТА) с черноземом много недостаточно ясных положений. Главное из них — насколько велика способность чернозема противостоять деформации¹. Из литературных материалов видно, что в черноземах эта способность может быть выражена хорошо. Большинство черноземов относительно хорошо оструктурены, что, по данным Б.И. Потапова (1966), обуславливает небольшое их уплотнение.

В черноземах вследствие значительного количества илистой фракции, содержащей преимущественно смешанноглинистые гидрослюда-монтмориллонитовые образования, способные к расширению решетки, происходят объемные изменения массы, что приводит ее к разуплотнению (Горбунов, 1974). Наконец, воздействия наиболее тяжелых МТА на чернозем отмечаются в период уборки при основной обработке, как раз в то время, когда в почве содержится наименьшее количество влаги, что, как известно, также не благоприятствует уплотнению. Иначе говоря, в черноземных почвах "работает" целый комплекс объективных факторов, способных уменьшить отрицательное влияние ходовых систем МТА. Однако однозначного ответа на вопрос, как действуют названные факторы в условиях высокого уровня механизации полевых работ на черноземах, дать нельзя. Неясность в этом вопросе не позволяет ответить и на другой не менее важный вопрос: насколько реальна опасность переуплотнения черноземов в перспективе?

Рассмотрим экспериментальные данные, полученные на черноземе типичном мощном тяжелосуглинистом. Исследовалась уплотняющая способность тракторов Т-16М, Т-54В, МТЗ-52, Т-74 и Т-150К, различающихся по весу и типу ходовых систем. Каждый трактор проходил по одной и той же колее 1, 4, 7 и 10 раз (это соответственно пониженное, обычное и несколько повышенное число проходов при возделывании зерновых колосовых и пропашных культур, без учета уборочно-транспортных операций). Исследования проводили на части полигона кафедры механизации и электрификации сельского хозяйства Харьковского СХИ, представляющей собой выровненный участок пара. Влажность почвы во время исследований приблизительно соответствовала физической спелости.

В морфологическом отношении поле, укатанное колесами тракторов, представляет собой неприглядную картину: это различающиеся по глубине и форме колеи, пересекающие его в различных направлениях. На склонах колеи — идеальные устройства для отвода влаги атмосферных осадков. После обработки повсеместны глыбы, которые не всегда устраняются последующими поверхностными обработками. Следы от колеи трактора Т-150К видны в течение всей вегетации. Повышенное уплотнение ощущается на всю глубину пахотного слоя.

Наблюдения в шлифах показали, что после уплотнения исследованный

¹ В одной из наших работ (Медведев, Цыбулько, 1978) мы ее назвали несущей способностью.

Изменение плотности чернозема типичного мощного, г/см³,
в зависимости от марки тракторов и числа проходов

Тракторы	Число проходов	Глубина, см					
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Контроль	0	1,15	1,17	1,18	1,23	1,18	1,15
Т-16М	1	1,27	1,31	1,30	-	-	-
	4	1,36	1,32	1,31	1,32	-	-
	7	1,40	1,36	1,35	-	-	-
	10	1,43	1,39	1,32	1,39	1,33	-
Т-54В	1	1,29	1,30	1,27	1,24	-	-
	4	1,34	1,39	1,35	-	-	-
	7	1,38	1,36	1,36	-	-	-
	10	1,40	1,35	1,40	1,32	1,28	1,23
МТЗ-52	1	1,28	1,22	1,21	1,27	1,25	-
	4	1,35	1,34	1,31	1,26	-	-
	7	1,42	1,35	1,35	1,24	-	-
	10	1,42	1,35	1,36	1,31	1,27	1,28
Т-74	1	1,22	1,21	1,21	1,17	-	-
	4	1,26	1,33	1,21	-	-	-
	7	1,33	1,32	1,28	-	-	-
	10	1,28	1,37	-	-	1,26	1,24
Т-150К	1	1,30	1,30	1,26	1,24	-	-
	4	1,35	1,35	1,28	1,26	-	-
	7	1,36	1,37	1,34	1,27	1,26	1,29
	10	1,40	1,45	1,36	1,30	1,33	-

чернозем практически полностью теряет межагрегатные поры. Почвенные агрегаты деформируются, вытягиваются в горизонтальном направлении, растет их плотность. Величина видимой (только внутриагрегатной) пористости составляет 3% и ниже (Медведев, 1981). С агрономической точки зрения уплотненная почва с таким микростроением имеет резко отрицательные свойства и прежде всего пониженные величины влаго-, воздухо- и корнепроницаемости.

Исследования механического и микроагрегатного состава показали, что различий между сильно уплотненными и неуплотненными черноземами нет. Следовательно, при уплотнении тракторами в почве изменяется лишь соотношение между твердой и газообразной фазами.

Изменения плотности почв в зависимости от числа проходов тракторов подчиняются одной и той же закономерности (Слободюк, и др., 1978). Из данных табл. 59 видно, что все исследованные тракторы уплотняют почву до глубины 60 см, а возможно, и несколько глубже. Уже после первого прохода плотность почвы в колее существенно возрастает в сравнении с контролем. Тракторы Т-16М, Т-54В и Т-150К при этом несколько опережают тракторы МТЗ-52 и Т-74. При дальнейшем нарастании числа проходов плотность почвы продолжает увеличиваться, но различия между тракторами выявляются не так четко. После 4-7 проходов прирост плотности существенно снижается, плотность почвы как

будто достигает своего максимального значения. Однако из данных плотности в колее Т-150К видно, что исследованный чернозем можно уплотнить и сильнее.

О характере деформации пахотного слоя в зависимости от числа проходов дает представление рис. 13. Хорошо заметно, что деформация почвы практически прекращается после 4–7 проходов при достижении ею плотности 1,35–1,40 г/см³. И лишь Т-150К при нарастании числа проходов, видимо, способен уплотнить почву до 1,45–1,50 г/см³. На глубине 50–60 см увеличение плотности почв при росте числа проходов тракторов было небольшим.

Приобретенные в результате деформации высокие показатели уплотнения исследованной почвы сохранил в последствии. Способность почвы снижать объемный вес под действием переменного увлажнения и высушивания, т.е. способность к саморегулированию плотности, прослеживается при величине исходного уплотнения не выше 1,25 г/см³. Если же плотность в результате деформации достигла 1,40 г/см³ и выше, то интенсивность процессов разуплотнения резко ослабевает. Последствие уплотнения в этом случае сохраняется в течение 1,5–2 лет¹. Наилучшим образом предварительно уплотненная весной почва разуплотняется к весне следующего года (но только в слое 0–10 см), менее всего – в течение лета (Медведев и др., 1981).

Показатели общей пористости и содержания воздуха во время исследований подтверждают описанные выше закономерности. Уже после одного прохода почва в колее из рыхлого состояния переходила в плотное, а после 4 проходов приблизилась к очень плотному. После 7–10 проходов в колее почти всех исследованных тракторов содержание воздуха достигло критического уровня (15% и ниже).

Твердость почвы наибольшего значения (30–35 кгс/см²) достигла в колее Т-150К после 10 проходов (рис. 14). В колее других тракторов максимальная твердость была в пределах 23–30 кгс/см². Закономерности нарастания твердости при увеличении числа проходов несколько отличаются от таковых для плотности. На кривых твердости нет характерных для кривых плотности точек перелома, рост твердости не заканчивается даже после 10-го прохода трактора. Следовательно, если предел пластической деформации исследованного чернозема находится в интервале 1,35–1,50 г/см³, то предел прочности может быть значительно выше 35 кгс/см². Видимо, тот факт, что твердость возрастает по отношению к контролю значительно быстрее, чем плотность (300–800% в сравнении с 15–20%), заставляет нас при исследовании явлений деформации отдать предпочтение этому показателю.

Изменения в твердости почвы при деформации распространяются на большую глубину, чем изменения плотности. Это доказывается характером нарастания обеих величин в слое 20–30 см. Если по показателю плотности деформация в этом слое уже начинает ослабевать по сравнению с вышележащими слоями, то твердость, напротив, продолжает расти.

Водопроницаемость почвы после прохода тракторов МТЗ-52, Т-74 и Т-150К снижалась по отношению к контролю в 1,3–3,9 раза (на конт-

¹ Возможно, и дольше, но более длительных наблюдений мы не имеем.

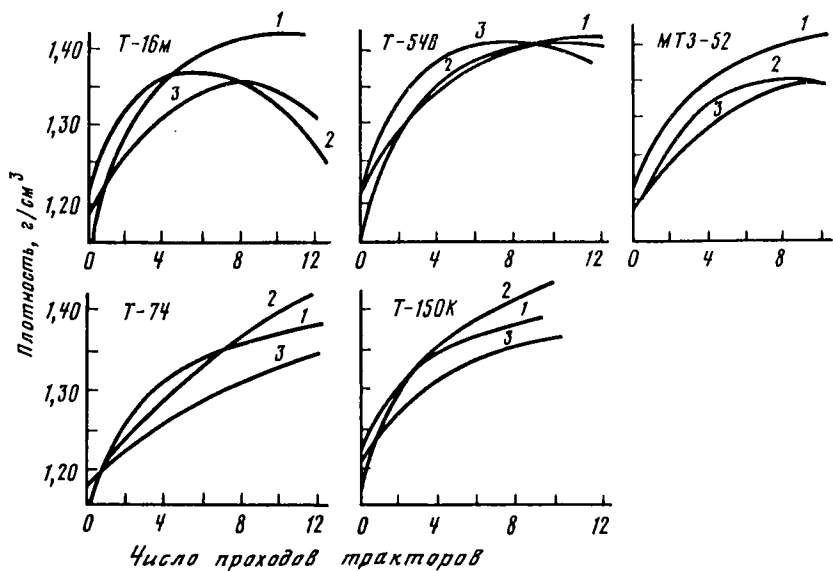


Рис. 13. Изменение плотности пахотного слоя чернозема типичного мощного в зависимости от числа проходов различных тракторов
Слой, см: 1 - 0-10; 2 - 10-20; 3 - 20-30

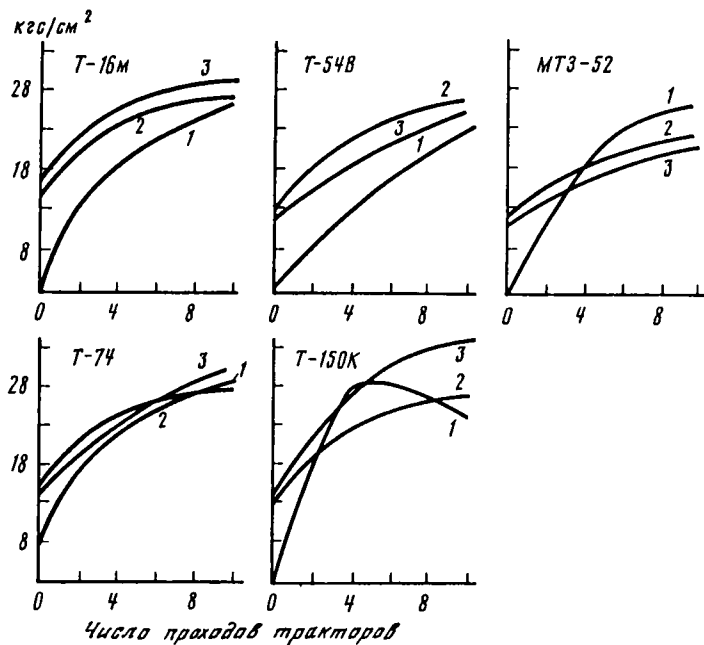


Рис. 14. Изменение твердости пахотного слоя чернозема типичного мощного в зависимости от числа проходов различных тракторов
Слой, см: 1 - 0-10; 2 - 10-20; 3 - 20-30

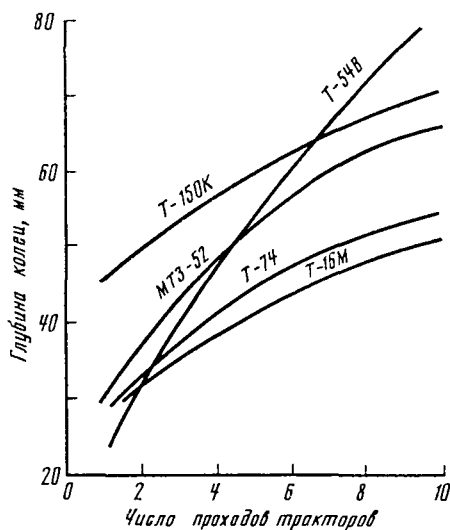


Рис. 15. Изменение глубины колеи в зависимости от числа проходов тракторов

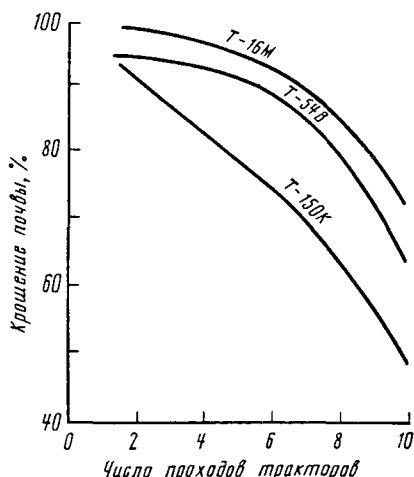


Рис. 16. Изменение крошения почвы в зависимости от числа проходов тракторов (по выходу комков размером менее 30 мм после рыхления культиватором)

роле 31,5 мм/ч), причем значительных различий в водопроницаемости почвы, уплотненной 4 и 10 проходами тракторов, не было.

В результате деформации почвы ходовой системой тракторов образуется колея, которая ухудшает рельеф поля, увеличивает поверхность испарения, усиливает пестроту свойств и режимов, усложняет проведение полевых работ. На рис. 15 видно, что при одном проходе различные типы тракторов образовали колеи с близкой глубиной — 26–30 мм. Однако для Т-150К в этих условиях глубина колеи составляла 42 мм. С увеличением числа проходов до 4 колея становилась глубже, после 7–10 проходов — изменялась мало. Лишь в колее Т-54В из-за малой ширины гусеницы (всего 200 мм) она углублялась соответственно числу проходов почти линейно. Наименьшая глубина колеи была после проходов Т-74 и Т-16М вследствие большой опоры ходовой системы в первом случае и небольшой массы — во втором¹.

Деформация почв ходовыми системами тракторов существенно сказывается на последующем крошении почвы рыхлящими орудиями. Обработка предварительно уплотненной почвы сопровождается образованием глыб даже в состоянии физической спелости, причем с увеличением числа проходов и веса тракторов способность исследованной почвы к крошению ухудшается (рис. 16). Одновременно с этим отмечается возрастание затрат энергии на обработку. Для того чтобы получить приблизительно равные

¹ Данные о глубине колеи относительны, здесь не учитывается фактическая величина площади уплотнения поля после проходов тракторов. Например, у Т-150К ширина колеи почти в 2,5 раза больше, чем у Т-54В.

показатели крошения (около 90–100% комков размером менее 30 мм) для почвы, уплотненной при давлении 1,2 и 0,4 кгс/см², требуются соответственно усилия разрушения 0,009 и 0,001 кг/см³ (Медведев и др., 1976). Заметим, что крошение сопровождается не только образованием глыб, но и чрезмерным разрыхлением обрабатываемого слоя до плотности 0,9–1,0 г/см³, что усиливает потери имеющейся в почве продуктивной влаги.

В процессе уплотнения изменилась также водоустойчивость почвенной структуры. При плотности 1,3 г/см³ она оказалась равной 43%, что на 7,5% выше, чем при плотности 1,10 г/см³. Последнее, видимо, объясняется накоплением ложностойких, плохо увлажняющихся агрегатов. При применении более длительного, чем это рекомендуется по методике Н.И. Саввинова, намачивания (6 ч вместо 10 мин) они разрушались, в то время как на контроле увеличение продолжительности намачивания не изменило водоустойчивости комков.

Приведенные выше данные показали, что проходы по исследованному чернозему практически всех видов тракторов сопровождаются уплотнением и упрочнением почвы на значительную глубину. Из всех исследованных тракторов Т-150К оказывает на почву наиболее неблагоприятное влияние (подчеркнем — при обработке почвы в состоянии, близком к физической спелости). Вследствие ухудшения агрофизических свойств почв снижается урожай сельскохозяйственных культур.

Ниже приводится урожай зеленой массы кукурузы, убранной на корм, в зависимости от числа проходов тракторов Т-150К (чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый. 1978–1980 гг.).

Число проходов	Урожай, ц/га
0	139
1	130
4	126
7	92
НСР _{0,5}	8

Среди мер, направленных на уменьшение переуплотнения черноземов, важным является понижение удельного давления МТА при их проходе по хорошо разделанной до мелкоструктурного состояния почве. Такая почва уплотняется не больше, чем грубо разделанная, но значительно хуже крошится (табл. 60). Большое влияние на конечный результат деформации оказывает исходная плотность почвы. Максимальный прирост уплотнения после прохода МТА по рыхлой почве может достигать 0,3–0,4 г/см³, в то время как при проходах по уже уплотненной почве — в пределах 0–0,1 г/см³. Это значит, что весной, когда исследованный чернозем хорошо увлажнен, хорошо разделан многочисленными предпосевными обработками и достаточно вспушен (по крайней мере в посевном слое), проходы МТА с повышенным удельным давлением недопустимы.

Таким образом, выполненные исследования показали, что в результате воздействия колес тракторов на чернозем типичный мощный его важнейшие агрономические свойства ухудшаются. Возрастают плотность и твердость, заметно снижаются общая порозность, воздухоемкость, во-

Крошение плоским деформатором
предварительно уплотненного образца почвы
с различным структурным составом

Удельное давление при формировании образца, кг/см ²	Размеры структурных отделностей, мм	Плотность образцов почвы перед деформацией, г/см ³	Влажность образцов почвы в момент деформации, % от веса	Содержание структурных отделностей после деформации, %				Степень сохранности исходного структурного состава образцов после деформации, %
				> 30 мм	30—10 мм	10—0,25 мм	< 0,25 мм	
0,94	>5	1,16	12,0	39,2	14,3	46,2	0,3	18,0
	<5	1,17	10,7	82,8	5,6	11,2	0,4	4,3
1,27	>5	1,18	12,3	53,0	12,8	33,7	0,5	12,3
	<5	1,26	12,8	82,3	5,6	11,9	0,2	6,0
1,56	>5	1,24	14,5	73,5	4,1	22,2	0,2	7,4
	<5	1,28	15,5	88,2	2,9	8,5	0,4	4,3
1,78	>5	1,31	11,8	80,7	6,4	11,9	1,0	3,7
	<5	1,32	13,7	87,2	4,4	7,9	0,5	3,0

допроницаемость. При многократных проходах всех исследованных типов тракторов (особенно Т-150К) плотность почвы может превысить 1,30—1,40 г/см³ — верхний предел оптимального ее уплотнения для большинства сельскохозяйственных культур, содержание воздуха — опуститься ниже критического уровня — 15%, твердость — достигнуть 20 кгс/см² и выше, водопроницаемость — уменьшиться до 10—15 мм/ч. Резко уменьшается меж- и внутриагрегатная порозность, наблюдается заметное уплотнение отдельных агрегатов. Уплотнение и упрочение отчетливо прослеживаются до глубины 50—60 см, но глубже 30 см действие ходовых систем на эти показатели заметно меньше. Отрицательные изменения сохраняются в последствии, ибо способность исследованного чернозема устранить избыточную плотность за счет процессов разуплотнения при объемных изменениях ограничена (вероятно, из-за пониженной водовпитывающей способности).

Рыхление уплотненной почвы существующими орудиями пассивного типа уменьшает ее плотность, но сопровождается дополнительным расходом энергии и повышенным выходом глыб.

На основании полученных данных мы считаем возможным утверждать, что исследованный чернозем в весьма малой степени способен противостоять деформации, оказываемой на него современной сельскохозяйственной техникой. Опасность его переуплотнения весьма реальна уже в настоящее время и может возрасти в будущем, если на поля выйдут еще более тяжелые тракторы, разрабатываемые конструкторами (Садыков, 1977).

В результате исследований выявлены условия, содействующие и противодействующие процессу деформации. В числе первых — большой вес трактора, его ходовая система колесного типа, многократные проходы по полям, хорошо разделанная (мелкоструктурная), разрыхленная, ув-

лаженная поверхность почвы. В числе вторых — минимализация числа проходов МТА, исключение проходов тяжелых МТА по полям в весенний период, гусеничная ходовая система, повышение несущей способности почв, рыхление почвы орудиями активного типа.

В Украинской ССР внимание к проблеме "МТА—почва" должно быть усилено, ибо здесь действует ряд почвенно-климатических и хозяйственных факторов, в целом способствующих развитию уплотнения. Это преобладающий средний и тяжелый механический состав почв, обычно высокая (близкая к физической спелости) влажность подпосевного слоя пашни в весенний период, значительные величины удельного сопротивления почв, ограничивающие возможности совмещения почвообрабатывающих операций, внесения удобрений и посева. На этом в целом неблагоприятном фоне в республике работает огромное количество энегронасыщенных тяжелых машин, недостаточны площади, где находят применение минимальные, индустриальные и другие прогрессивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, понижены дозы навоза (фактора, способствующего повышению несущей способности почв), не обеспечивающие даже бездефицитный баланс гумуса.

Центральная и правобережная лесостепь

Исследования влияния воздействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов на изменение физико-механических свойств почвы и урожайность сельскохозяйственных культур в центральной и правобережной лесостепи Ураины (Черкасская и Киевская области) проводились Украинской сельскохозяйственной академией совместно с Черкасской государственной сельскохозяйственной опытной станцией и Драбовской опытной станцией земледелия.

В 1966 и 1967 гг. исследовали воздействие тракторов ДТ-75, Т-74, Т-125 и К-700 в Васильковском районе Киевской области при посеве кукурузы, ячменя, гороха и сахарной свеклы (Гапоненко, 1971). В 1967 и 1968 гг. в Кагарлыцком районе Киевской области изучали воздействие ходовых систем свеклоуборочных агрегатов при поточной уборке сахарной свеклы.

В 1971—1974 гг. на Черкасской и Драбовской опытных станциях земледелия исследовали локальное уплотнение почвы в междурядьях ходовыми системами тракторов МТЗ-5ЛС и МТЗ-52 в процессе возделывания соответственно сахарной свеклы и кукурузы. Тип почвы на опытных участках Черкасской опытной станции — чернозем реградированный крупнопылеватый среднесуглинистый, на Драбовской — чернозем типичный мощный малогумусный пылеватый легкосуглинистый. Механический состав почв представлен в табл. 61.

В 1975—1977 гг. на Драбовской опытной станции земледелия определяли влияние сплошного 1, 2- и 4-кратного предпосевного уплотнения почвы на физико-механические свойства почвы и урожайность ячменя и гороха ходовыми системами тракторов ЮМЗ-6Л, Т-150К, Т-74 и экспериментального трактора "Руслан" на пневматических гусеницах. В 1981—1984 гг. на Черкасской опытной станции исследовали локальное уплотнение почвы ходовыми системами тракторов ЮМЗ-6Л и Т-74 посевных агрегатов при возделывании ячменя и гороха.

Механический состав почв опытных участков, %

Глубина, см	Потери от обработки НС1, %	Размеры частиц, мм					
		Песок		Пыль			Ил
		>0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
Черкасская государственная сельскохозяйственная опытная станция							
0—25	1,8	—	11,6	48,6	7,5	5,8	24,4
25—35	1,9	—	11,7	50,4	6,3	6,3	22,4
Драбовская опытная станция земледелия							
0—20	4,1	—	16,9	44,4	7,1	14,2	17,4
25—35	5,5	1,8	4,3	56,6	5,6	11,7	20,0
55—65	7,3	0,2	2,2	62,4	6,1	10,6	18,4
105—115	5,4	0,2	18,0	62,6	4,5	4,4	10,3
170—180	5,4	0,1	17,8	57,7	7,5	9,4	7,4

Таблица 62

Плотность сложения почвы при возделывании кукурузы, кг/м³

Время определения	Уплотненные междурядья			Неуплотненные междурядья		
	0—5 см	10—15 см	20—25 см	0—5 см	10—15 см	20—25 см
Черкасская государственная сельскохозяйственная опытная станция, 1971—1973 гг.						
Май	1340	1450	1360	1130	1330	1320
Июнь	1110	1390	1340	980	1240	1240
Июль	1180	1420	1320	1000	1240	1280
Сентябрь	1170	1410	1280	1070	1250	1270
Октябрь	1140	1390	1350	1100	1210	1230
Драбовская опытная станция земледелия, 1971, 1972, 1974 гг.						
Апрель	1450	1390	1250	1020	1170	1170
Май	1030	1280	1240	990	1180	1190
Июнь	1130	1300	1250	1080	1130	1120
Август	1070	1180	1120	1110	1150	1090
Сентябрь	1090	1150	1120	1050	1060	970

Анализ результатов исследований показывает, что уплотнение почвы ходовыми системами тракторов колесного и гусеничного типа на мало-гумусных черноземах распространяется не только на пахотный, но и на подпахотный слой. Более всего уплотняется почва на глубине 10—20 см при физически спелом состоянии.

Данные плотности сложения почвы в неуплотненных и уплотненных междурядьях при посеве и уходе за кукурузой и сахарной свеклой приведены в табл. 62 и 63. Как видно по приведенным данным, на протяжении

Плотность сложения почвы при возделывании сахарной свеклы, кг/м³. 1972–1974 гг.

Время определения	Уплотненные междурядья			Неуплотненные междурядья		
	0–5 см	10–15 см	20–25 см	0–5 см	10–15 см	20–25 см
Черкасская государственная сельскохозяйственная опытная станция						
Апрель	1210	1380	1370	980	1050	1180
Май	1310	1470	1420	1080	1270	1310
Июнь	1370	1430	1360	1070	1250	1240
Июль	1310	1430	1360	1130	1340	1300
Сентябрь	1230	1470	1360	1120	1220	1270
Драбовская опытная станция земледелия						
Апрель	1130	1230	1200	1140	1260	1200
Май	1100	1320	1230	1030	1220	1170
Июнь	1180	1200	1180	1090	1160	1110
Июль	1090	1210	1160	1100	1160	1080
Сентябрь	1070	1010	1040	1080	1050	1050

всего периода вегетации растений плотность сложения почвы в междурядьях, подверженных воздействию ходовых систем тракторов, остается выше, чем в междурядьях, не подвергавшихся такому воздействию.

Изменение плотности сложения почвы при предпосевном одно-, двух- и четырехкратном уплотнении почвы ходовыми системами тракторов ЮМЗ-6Л, Т-150К, Т-74 и экспериментального трактора "Руслан" на пневматических гусеницах при возделывании гороха и ячменя показано в табл. 64 и 65. Уплотнение почвы, образованное перед посевом, сохраняется на весь вегетационный период растений. В то же время следует отметить, что колесные тракторы Т-150К и ЮМЗ-6Л больше уплотняют почву, чем гусеничные. К наибольшему уплотнению почвы приводит механическое воздействие ходовой системы трактора Т-150К, к наименьшему — экспериментального трактора "Руслан". С увеличением кратности воздействия ходовых систем трактора плотность сложения почвы растет.

Исследования локального уплотнения почвы ходовыми системами тракторов при посеве гороха и ячменя также показывают, что по следам тракторов почва остается более уплотненной, чем вне следов на протяжении всего периода вегетации растений (табл. 66 и 67).

Полевая влажность почвы и запас влаги как при сплошном, так и при локальном уплотнении в период возделывания гороха и ячменя на уплотненных участках поля практически не различаются на протяжении всего периода вегетации растений. Но как известно, чем плотнее почва, тем большее количество воды оказывается недоступным для растений (Ревут, 1964). Это дает основание полагать, что на уплотненных участках поля ухудшаются условия водного питания растений.

Исследования водопроницаемости почвы показывают, что на протяжении всего периода вегетации растений водопроницаемость почвы на уплотненных участках меньше, чем на неуплотненных. Это наглядно видно на при-

Таблица 64

Плотность сложения почвы при возделывании гороха, кг/м³. 1977 г.

Время определения	Делянки, не уплотненные тракторами		Делянки, уплотненные тракторами							
			ЮМЗ-6Л		Т-150К		Т-74		'Руслан'	
	10-15 см	20-25 см	10-15 см	20-25 см	10-15 см	20-25 см	10-15 см	20-25 см	10-15 см	20-25 см
Однократно уплотненные										
Апрель	1130	1230	1260	1350	1370	1350	1220	1230	1360	1360
Май	1250	1250	1280	1190	1240	1230	1220	1170	1310	1220
Июнь	1180	1230	1350	1260	1300	1320	1280	1190	1260	1240
Двукратно уплотненные										
Апрель	1130	1230	1340	1200	1310	1270	1330	1250	1350	1280
Май	1250	1250	1270	1250	1320	1260	1350	1220	1280	1220
Июнь	1180	1230	1320	1170	1300	1260	1220	1220	1230	1240
Четырехкратно уплотненные										
Апрель	1130	1230	1280	1230	1430	1260	1210	1180	1400	1320
Май	1250	1250	1340	1260	1320	1250	1310	1240	1290	1200
Июнь	1180	1230	1300	1180	1340	1290	1200	1160	1210	1180

Таблица 65

Плотность сложения почвы при возделывании ячменя, кг/м³. 1977 г.

Время определения	Делянки, не уплотненные тракторами		Делянки, уплотненные тракторами							
			ЮМЗ-6Л		Т-150К		Т-74		"Руслан"	
	10-15 см	20-25 см	10-15 см	20-25 см	10-15 см	20-25 см	10-15 см	20-25 см	10-15 см	20-25 см
Однократно уплотненные										
Апрель	1130	1230	1260	1350	1370	1350	1220	1230	1360	1360
Май	1220	1180	1240	1240	1240	1220	1200	1200	1190	1170
Июнь	1250	1310	1250	1310	1280	1290	1340	1230	1330	1220
Двукратно уплотненные										
Апрель	1130	1230	1340	1200	1310	1270	1330	1250	1350	1280
Май	1220	1180	1200	1180	1330	1320	1300	1220	1230	1180
Июнь	1250	1310	1320	1220	1310	1300	1350	1190	1270	1230
Четырехкратно уплотненные										
Апрель	1130	1230	1280	1230	1430	1260	1210	1180	1400	1320
Май	1220	1180	1210	1240	1320	1210	—	—	1250	1210
Июнь	1250	1310	1330	1220	1440	1390	1400	1270	1290	1200

Таблица 66

Плотность сложения почвы, кг/м³,
в период вегетации гороха. 1983 г.

Время определения	Глубина, см	Вне следа трактора	По следу трактора		Время определения	Глубина, см	Вне следа трактора	По следу трактора	
			ЮМЗ-6Л	ДТ-75				ЮМЗ-6Л	ДТ-75
Апрель	0-5	1100	1440	1420	Июль	0-5	1140	1400	1380
	5-10	1170	1450	1440		5-10	1200	1390	1370
	10-15	1210	1470	1430		10-15	1240	1420	1390
	15-20	1260	1460	1450		15-20	1260	1400	1380
	20-25	1260	1420	1440		20-25	1270	1380	1350
	25-30	1270	1420	1440	25-30	1300	1370	1360	

Таблица 67

Плотность сложения почвы в период вегетации ячменя
в 1983 г., кг/м³

Время определения	Глубина, см	Вне следа трактора	По следу трактора		Время определения	Глубина, см	Вне следа трактора	По следу трактора	
			ЮМЗ-6Л	ДТ-75				ЮМЗ-6Л	ДТ-75
Апрель	0-5	1070	1450	1420	Июль	0-5	1140	1400	1400
	5-10	1150	1150	1420		5-10	1200	1420	1390
	10-15	1220	1480	1430		10-15	1240	1430	1400
	15-20	1240	1460	1450		15-20	1260	1410	1420
	20-25	1260	1420	1390		20-25	1270	1390	1360
	25-30	1250	1410	1400	25-30	1280	1380	1360	

Таблица 68

Водопроницаемость почвы при возделывании сахарной свеклы, мм/ч.
Драбовская опытная станция земледелия, уплотнение трактором МТЗ-52

Дата определения	В уплотненных между-рядьях	В неуплотненных между-рядьях	Дата определения	В уплотненных между-рядьях	В неуплотненных между-рядьях
13 мая 1972 г.	7,7	45,8	18 мая 1973 г.	5,1	29,1
14 июня 1972 г.	23,4	45,5	23 июня 1973 г.	6,9	15,3
21 июля 1972 г.	18,7	20,3	3 сентября 1973 г.	10,0	11,4

Интенсивность выделения углекислоты из почвы, мг/м² · ч,
в междурядьях сахарной свеклы

Дата определения	В уплот- ненных между- рядьях	В неуплот- ненных между- рядьях	Дата определения	В уплотнен- ных между- рядьях	В неуплот- ненных между- рядьях
Черкасская государственная сельскохозяйственная опытная станция					
10 июня 1972 г.	89,8	134,7	19 июля 1974 г.	140,7	176,6
22 июня 1972 г.	110,7	149,7	4 октября 1974 г.	50,9	62,9
15 июня 1973 г.	95,8	143,7	Драбовская опытная станция земледелия		
2 июля 1973 г.	65,9	119,7			
15 июля 1973 г.	77,8	119,7	12 июня 1972 г.	115,5	159,5
5 сентября 1973 г.	60,6	101,8	4 августа 1972 г.	141,1	147,5
16 апреля 1974 г.	56,9	59,9	23 мая 1973 г.	94,0	123,0
6 июня 1974 г.	83,8	113,7	11 июля 1973 г.	195,2	203,5
16 июня 1974 г.	101,7	146,7			

мере возделывания сахарной свеклы (табл. 68). Надо отметить, что в конце вегетации растений разница между водопроницаемостью почвы на уплотненных и неуплотненных участках поля уменьшается.

Газообмен между почвой и атмосферой, как известно, является одним из важных свойств, характеризующих воздушный режим почвы. Скорость газообмена характеризует воздухопроницаемость почвы. Об интенсивности газообмена можно судить по количеству выделяющейся из почвы углекислоты в единицу времени. Результаты экспериментов по измерению интенсивности выделения углекислоты из почвы при возделывании сахарной свеклы приведены в табл. 69. Из этих результатов видно, что интенсивность выделения углекислоты из почвы в междурядьях, уплотненных ходовыми системами тракторов МТЗ-5ЛС и МТЗ-52, была меньше, чем на неуплотненных. Следовательно, воздухопроницаемость почвы в уплотненных междурядьях меньше, чем в неуплотненных. Аналогичное положение наблюдалось и при возделывании кукурузы.

Данные определения агрегатного состава почвы в уплотненных и неуплотненных междурядьях приведены в табл. 70. Из этих данных видно, что в пахотном горизонте уплотненных междурядий ходовыми устройствами тракторов на 15–20% больше почвенных агрегатов размером свыше 10 мм, чем на неуплотненных. Водопрочных агрегатов в уплотненных междурядьях меньше, чем в неуплотненных. Все это указывает на то, что механическое воздействие ходовых устройств тракторов на почву приводит к образованию глыб и разрушению агрономически ценных структурных почвенных агрегатов.

Одной из важных механических характеристик почвы является твердость. От нее в значительной степени зависят энергозатраты на машинную обработку почвы, а также расход энергии растений на развитие корневой системы. Результаты этих исследований показывают, что твердость почвы, как и плотность сложения, при механическом воздействии ходовых

Таблица 70

Агрегатный состав почвы при сухом (1) и мокром (2) просеивании, %.
Драбовская опытная станция земледелия, 1973 г.

Место и дата отбора образца	Глубина, см	Размер частиц, мм				
		> 10	10-7	7-5	5-3	
		1	1	1	1	2
Уплотненное междурядье кукурузы, 8 июня 1973 г.	0-5	31,2	7,8	6,6	10,8	0,45
	5-10	65,0	7,7	5,8	6,0	0,48
	10-15	50,4	9,2	6,1	8,8	0,47
	15-20	39,7	7,1	8,3	11,5	0,52
	20-25	33,6	9,8	8,3	11,5	0,52
Неуплотненное междурядье кукурузы, 8 июня 1973 г.	25-30	38,3	7,4	7,4	11,5	0,51
	0-5	15,2	6,4	6,1	10,9	6,33
	5-10	33,4	8,6	7,1	11,8	6,21
	10-15	24,1	8,6	8,5	12,7	6,47
	15-20	31,0	9,1	8,1	12,8	6,38
20-25	24,2	8,5	7,5	12,3	6,57	
25-30	31,3	9,8	7,8	12,0	6,57	

Таблица 71

Твердость почвы при возделывании сахарной свеклы
(Драбовская опытная станция земледелия), кг/см²

Дата определения	Уплотненные междурядья, см					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
19 мая 1972 г.	10,3	16,6	16,2	14,7	11,9	12,4
10 июня 1972 г.	15,8	27,7	19,5	15,5	14,7	13,4
17 мая 1973 г.	12,5	15,4	13,7	11,9	12,8	13,2

Дата определения	Неуплотненные междурядья, см					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
19 мая 1972 г.	6,2	9,3	8,3	7,9	7,6	12,5
10 июня 1972 г.	6,3	13,2	9,3	10,0	9,4	10,8
17 мая 1973 г.	5,5	8,6	10,6	8,0	13,3	11,0

систем тракторов увеличивается на всей глубине пахотного слоя, наибольшее значение она имеет на глубине 5-15 см. Это убедительно подтверждают данные опытов при возделывании сахарной свеклы (табл. 71). Аналогичное положение наблюдается и при возделывании кукурузы, гороха и ячменя.

Обобщая изложенные данные исследований, можно заключить, что от механического воздействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов в значительной степени ухудшаются условия для развития растений,

Размер частиц, мм

3-2		2-1		1-0,5		0,5-0,25		< 0,25	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
6,7	1,45	8,0	6,15	10,0	7,01	6,6	17,31	12,3	67,63
3,5	1,60	3,5	6,25	3,6	8,16	1,9	17,21	3,0	66,30
5,3	1,50	5,2	6,18	6,0	7,54	3,0	17,35	5,9	66,96
6,9	1,58	9,0	6,73	8,5	8,32	4,2	16,39	4,8	66,46
8,3	1,93	8,2	7,12	8,6	8,29	4,9	17,20	7,0	64,93
8,1	1,70	7,4	7,19	8,4	8,51	5,1	17,66	6,4	64,43
6,5	6,32	10,2	16,66	17,3	6,65	9,7	2,88	17,7	61,16
7,5	6,20	8,2	16,43	10,2	7,65	5,5	2,80	7,7	60,71
10,8	6,23	11,1	16,48	10,8	7,14	5,2	2,80	8,2	60,88
8,0	6,79	9,2	17,21	10,3	7,71	5,6	2,91	6,4	59,00
8,3	7,05	7,3	18,22	12,7	8,34	7,8	2,97	11,4	56,85
8,2	7,38	7,8	9,31	11,0	8,37	6,9	2,36	10,0	66,01

Таблица 72

Урожайность корнеплодов сахарной свеклы на опытных станциях, ц/га

Вариант опыта	1972 г.	1973 г.	1974 г.	Средняя
Черкасская государственная сельскохозяйственная опытная станция				
Рядки, возле которых не было уплотненных междурядий	393,3	407,0	370,0	390,1
Рядки, возле которых было уплотненное междурядье	375,6	370,0	342,0	362,5
Точность опыта, %	2,10	2,47	1,03	—
НСР _{0,95}	14,5	36,0	14,4	—
Драбовская опытная станция земледелия				
Рядки, возле которых не было уплотненных междурядий	231,2	398,0	522,6	400,6
Рядки, возле которых было уплотненное междурядье	256,4	339,0	446,8	347,4
Точность опыта, %	2,78	1,53	2,45	—
НСР _{0,95}	12,6	37,5	15,5	—

Урожайность зерна кукурузы на опытных станциях, ц/га

Вариант опыта	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	Средняя
Черкасская государственная сельскохозяйственная опытная станция					
Рядки, возле которых не было уплотненных междурядий	55,3	79,3	61,2	—	65,2
Рядки, возле которых было уплотненное междурядье	48,9	75,3	53,9	—	59,4
Точность опыта, %	2,60	1,91	1,73	—	—
НСР _{0,95}	4,2	3,8	5,4	—	—
Драбовская опытная станция земледелия					
Рядки, возле которых не было уплотненных междурядий	71,3	54,9	—	83,4	69,9
Рядки, возле которых было уплотненное междурядье	63,8	42,7	—	63,9	56,7
Точность опыта, %	2,56	1,81	—	2,24	—
НСР _{0,95}	5,1	4,9	—	7,8	—

разрушается почвенная структура, что способствует эрозии и увеличивает сопротивление почвы. Все это в конечном результате не может не отразиться на урожайности возделываемых культур.

Данные урожайности в отдельных рядках сахарной свеклы при локальном уплотнении ходовыми системами тракторов приведены в табл. 72. Они показывают, что средняя за 3 года урожайность корнеплодов сахарной свеклы в рядках, возле которых располагалось уплотненное междурядье, была ниже, чем в рядках, возле которых не было уплотненного междурядья. Данные урожайности зерна кукурузы приведены в табл. 73, из которых также видно, что урожайность зерна кукурузы в рядках, возле которых располагалось уплотненное междурядье, была ниже, чем в рядках, возле которых не было уплотненного междурядья.

Результаты исследований влияния сплошного одно-, дву- и четырехкратного предпосевного уплотнения почвы ходовыми системами тракторов ЮМЗ-6Л, Т-150К, Т-74 и экспериментального трактора "Руслан" на пневматической гусенице при возделывании гороха и ячменя показывают, что с увеличением кратности уплотнения почвы понижается урожайность обеих культур (табл. 74). Более заметно на уплотнение почвы реагирует горох. Так, от четырехкратного предпосевного уплотнения почвы ходовой системой трактора ЮМЗ-6Л урожайность ячменя понизилась на 4,1 ц/га (11,1%), гороха — на 5,7 ц/га (19,7%); трактора Т-150К — соответственно на 4,8 (13,0%) и 6,8 ц/га (23,5%); трактора Т-74 — на 3,1 (8,3%) и 4,2 ц/га (14,5%) и трактора на пневмогусенице — на 1,6 (5,1%) и 2,9 ц/га (10,7%).

Средняя урожайность гороха и ячменя на 1975–1977 гг.
при сплошном предпосевном уплотнении почвы, ц/га.
Драбовская опытная станция земледелия

Кратность уплотне- ния	Урожайность гороха на делян- ках, уплотненных тракторами				Урожайность ячменя на делянках, уплотненных тракторами			
	ЮМЗ- 6Л	Т-150К	Т-74	"Рус- лан"	ЮМЗ- 6Л	Т-150К	Т-74	"Рус- лан"
0	28,9	28,9	28,9	27,2*	36,8	36,8	36,8	31,0*
1	26,9	26,0	28,1	26,9	35,3	35,0	36,0	30,7
2	25,5	24,5	26,6	25,9	34,3	33,8	35,1	30,4
4	23,2	22,1	24,7	24,3	32,7	32,0	33,7	29,4

*Опыты с трактором "Руслан" проводились только 2 года (1975 и 1976 гг.).

На понижении урожайности уплотняющее воздействие трактора Т-150К сказывается наибольшим образом, а трактора "Руслан" на пневматической гусенице — наименьшим. Результаты исследования влияния локального уплотнения почвы ходовыми системами тракторов Т-74 и ЮМЗ-6Л при посеве гороха и ячменя подтвердили, что их урожайность по следам тракторов меньше, чем вне следа.

Проведенные исследования указывают, что в центральной и правобережной лесостепи Украины механическое воздействие ходовых систем машинно-тракторных агрегатов отрицательно сказывается на физико-механических свойствах почвы и урожайности сельскохозяйственных культур.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ПОЧВУ В МЕЖДУРЯДЬЯХ ЧАЙНОЙ ПЛАНТАЦИИ В КОЛХИДСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Колхидская низменность по почвенно-климатическим условиям относится к субтропической зоне, ее сельскохозяйственное освоение имеет большое народнохозяйственное значение. Это резерв земель для расширения площадей под чай, цитрусовые, благородный лавр и другие ценные субтропические культуры.

Колхида представляет собой приморскую заболоченную аллювиальную равнину. Климат зоны мягкий, характеризуется обилием атмосферных осадков, сравнительно теплой зимой и не особенно жарким летом. Средняя годовая температура составляет 13,5–14,5 °С, а среднегодовое количество осадков — 1600–1900 мм, распределение их по месяцам неравномерное. Осадки часто имеют ливневый характер, иногда выпадает до 75–150 мм в сутки (Моцерелия, 1974).

По гидрологическим и геоморфологическим условиям, резко меняющемуся климату и многообразию почвенного покрова Колхидская низменность является сложным и уникальным мелиоративным объектом, где

мало приемлемы обычные методы и мероприятия осушения и освоения земель. Почвы в этом регионе редко находятся в состоянии физической спелости, поэтому обработку и другие технологические операции проводят преимущественно в переувлажненных условиях. В таком состоянии почва сильно прилипает к рабочим органам машин, тракторы буксуют, затрудняется их перемещение. Кроме того, как показывают литературные данные (Панцхава, 1969; Моцерелия, 1974; Квижинадзе, 1975) и материалы наших экспериментальных исследований, при работе техники на переувлажненных почвах на плантациях субтропических культур происходит разрушение структуры почв и ее уплотнение, в результате чего нарушается водный, воздушный и биохимический режимы почв в междурядьях.

Отрицательное воздействие техники на почву больше всего заметно на чайных плантациях, так как здесь мы имеем дело с многолетней культурой, с узкой проезжей частью междурядий, по которым агрегаты проходят в течение нескольких десятилетий по одному и тому же следу. Не менее важно также и то, что такие агротехнические работы, как подрезка, формирование чайных кустов, обработка почв в междурядьях, сбор чайного листа и другие проводятся почти круглый год, независимо от погодных условий и уровня влажности почвы.

Одной из главных причин, вызвавших ухудшение состояния чайных плантаций и снижение их урожайности, является применение мобильных машин (ММ), способствовавших образованию глубоких колея (борозд) в междурядьях и оголению корневой системы кустов (Босикашвили, 1975).

В 1977 г. нами была изучена степень отрицательного воздействия ММ на почву в междурядьях чайных плантаций, расположенных в разных зонах Колхидской низменности, в частности в Цаленджихском, Гальском, Ачигварском и Ингирском совхозах (Амиранидзе и др., 1981), где распространены слабо- и сильнооподзоленные субтропические почвы. Цель исследований заключалась в определении характера и величины уплотнения почвы при разном содержании влаги в зоне активного действия (АД) движителей трактора (средняя полоса междурядий) и в зоне, где такое действие отсутствовало (ОД) — непосредственно под чайным кустом (контроль).

В табл. 75 приведены материалы исследований, характеризующие физическое состояние отдельных слоев почв как в зоне АД, так и в зоне ОД (средние величины из многих единичных наблюдений). Анализ данных показывает, что в Цаленджихском чайном совхозе плотность сложения почвы по профилю резко увеличивается и в слое 40–60 см достигает максимального значения: $1,38 \text{ г/см}^3$ в активной зоне и $1,34 \text{ г/см}^3$ в неактивной зоне. Увеличение плотности сложения в зоне АД по сравнению с зоной ОД на глубине 0–20 см в среднем составляет $0,17 \text{ г/см}^3$, или 16,0%, на глубине 0–60 см — соответственно $0,12 \text{ г/см}^3$, или 9,9%. Коэффициент уплотнения достигает максимума на глубине 0–20 см (1,16), коэффициент пористости уменьшается от 1,4 до 0,9 (разрез 1).

В Цаленджихском чайном совхозе почва в зоне АД до глубины 0–60 см заметно уплотнена по сравнению с зоной ОД. Исключение составляет плантация, где в 1958 г. было проведено глубокое (до 80 см) рыление почвы. Плотность почвы в междурядьях на этой плантации (разрез 2) в настоящее

Величины некоторых физических показателей почв
в междурядьях чайных плантаций
в зависимости от воздействия ходовых систем ММ (1977 г.)

Раз-рез	Генети-ческий гори-зонт	Глубина, см	Естественная влажность, % от массы сухой почвы		Плотность сложения, г/см ³		Коэффициент пористости		Кoeffици-ент уплот-нения
			АД	ОД	АД	ОД	АД	ОД	
Цаленджихский чайный совхоз									
1	A ₁	0-20	33,8	36,8	1,25	1,08	1,1	1,4	1,156
	A ₂ (g)	20-40	27,5	31,6	1,36	1,21	1,0	1,2	1,129
	A ₂ fg	40-60	28,3	28,1	1,38	1,34	0,9	1,0	1,026
		0-60	29,9	32,2	1,33	1,21	1,0	1,2	1,104
2	A ₁	0-20	29,9	34,0	1,21	1,02	1,2	1,5	1,186
	A ₂ (g)	20-40	28,0	29,4	1,14	1,17	1,4	1,3	1,026
	A ₂ fg	40-60	27,6	28,9	1,30	1,29	1,1	1,1	1,007
		0-60	28,5	30,8	1,22	1,16	1,2	1,3	1,073
Гальский чайный совхоз									
3	A ₁	0-20	26,8	26,3	1,24	1,07	1,1	1,3	1,158
	A ₁ A(g)	20-40	28,3	29,5	1,39	1,21	0,9	1,2	1,110
	Bfg	40-60	29,4	30,0	1,36	1,33	0,9	1,0	1,019
		0-60	27,2	28,6	1,33	1,20	1,0	1,2	1,096
Ачигварский чайный совхоз									
4	A ₁	0-20	35,1	36,6	1,23	1,10	1,1	1,3	1,093
	A ₁ f	20-40	32,4	35,1	1,34	1,24	1,0	1,1	1,046
	Bfg	40-60	30,3	30,2	1,36	1,32	1,1	1,0	1,069
		0-60	32,6	34,0	1,30	1,23	1,1	1,1	1,069
Ингирский чайный совхоз									
5	A ₁	0-20	24,9	28,6	1,24	1,01	1,1	1,6	1,227
	A ₁ (g)	20-40	26,9	27,8	1,13	1,15	1,3	1,3	1,017
	A ₂ Bfg	40-60	27,3	27,8	1,23	1,18	1,1	1,3	1,042
		0-60	26,4	28,1	1,20	1,11	1,2	1,4	1,095

время ниже, чем на плантации, где проводились те же агротехнические приемы, но без глубокого рыхления почвы.

В Гальском чайном совхозе увеличение плотности сложения почвы в зоне АД ходовых систем ММ по сравнению с почвой под чайным кустом (контроль) в слое 0-40 см составляет 0,18 г/см³, или 15,8%.

Почвы чайных плантаций Ачигварского чайного совхоза мало отличаются от почв Гальского совхоза. Их гидрологический режим благодаря более выраженному рельефу не обуславливает устойчивого переувлажнения. Поэтому здесь почва в середине междурядий меньше уплотнена, чем в Гальском чайном совхозе. Так, разница по плотности сложения почв между зонами АД и ОД в слое 0-40 см составляет 0,12 г/см³.

Средние параметры деформации в результате многократного прохода ММ в междурядьях чайной плантации

Чайный совхоз	Параметры деформации, см		Параметры колеи, см	
	глубина	ширина	глубина	ширина
Цаленджихский	18	45	32	28
Гальский	15	50	27	25
Ачигварский	13	50	27	26
Ингирский	12	40	23	26

Еще более благоприятная ситуация наблюдается в Ингирском чайном совхозе: здесь уплотнение почвы в зоне АД по сравнению с зоной ОД не превышает $0,10 \text{ г/см}^3$ (слой 0–40 см), и отрицательный эффект воздействия ходовых систем ММ в этом совхозе незначителен. Он визуально прослеживается лишь там, где имеются западины рельефа.

В общем, как видно по данным таблицы, почва в междурядьях плантаций исследуемых чайных совхозов уплотнена в разной степени, но во всех разрезах плотность сложения почвы превышает оптимальные значения, которые на субтропических подзолистых почвах находятся в пределах $1,10–1,14 \text{ г/см}^3$ (Кереселидзе, 1978).

В вышеуказанных совхозах были также сняты с помощью рейки профили поверхности почв по всей ширине междурядий (1,75 м) чайной плантации. Исследования показали, что в результате многократного прохода ММ по одной и той же полосе шириной 40–50 см в междурядьях почва уплотняется и как следствие деформируется ее поверхность. Максимальная деформация поверхности почв наблюдается в центре междурядий, где происходит более активное действие движителей ММ. На краях вблизи чайного куста (в зоне ОД) величина деформации поверхности почв постепенно уменьшается; непосредственно под кустом поверхность почвы, наоборот, повышена. В естественных понижениях рельефа на чайных плантациях при близком к поверхности почвы залегании водонепроницаемых сцементированных ортштейновых горизонтов, почва находится в более влажном состоянии и не только уплотняется и деформируется, но даже выдавливается под движителем ММ. В результате образуются глубокие ямы-колеи.

В табл. 76 приведены средние параметры деформации (понижения поверхности почв) и глубин колеи, снятых в разных местах междурядий чайных плантаций. Средняя величина деформации поверхности почв в междурядьях исследуемых чайных плантаций варьирует от 12 до 18 см. Величина деформации в основном зависит от несущей способности почв указанных совхозов. Например, по сравнению с другими совхозами почва Цаленджихского чайного совхоза, по-видимому, обладает низкой несущей способностью, поэтому здесь в междурядьях колеи были большей глубины (до 32 см) и сохранялись дольше, чем на плантациях других совхозов.

В сильно деформированных местах (колеях) аккумулируются выпадающие атмосферные осадки, которые в связи с уплотнением почв плохо филь-



Рис. 17. Застаивание воды в колеях, образовавшихся после многократного прохода ММ в междурядьях чайной плантации.

Цаленджихский чайный совхоз, 1977 г.

труются и долго застаиваются в понижениях. Застаивание воды вызывает заболачивание междурядий, что, с одной стороны, приводит к постепенному отмиранию корневой системы чайных кустов, их высыханию, изреженности плантаций и в конечном итоге уменьшает урожайность. С другой стороны, долгое застаивание воды в колеях затрудняет проходимость ММ, иногда по этой причине на некоторых плантациях вообще невозможно применить ММ, и эти плантации требуют временного перехода на ручное возделывание, например в Цаленджихском чайном совхозе, в связи с тем, что в ряде мест образовались глубокие колеи (рис. 17) и было затруднено использование ММ. По решению администрации из 370 га полностью механизированных чайных плантаций 51 га временно был переведен на ручной сбор.

Таким образом, наши исследования подтвердили установившийся взгляд на причины угнетения чайных плантаций в зоне влажных субтропиков, которые сводятся к следующему.

1. Некачественное проведение культуртехнических, агрономелиоративных и агротехнических работ до закладки чайных плантаций.

2. Применение тяжелых колесных ММ в условиях переувлажнения почв, а также частое и многократное их движение по одному и тому же следу.

Для выявления причин угнетения чайных плантаций и уменьшения отрицательного последствия ходовых систем ММ необходимо изучить агрофизические свойства почвы, развитие чайного куста и определить урожайность чайного листа на опытном участке, где будут сопоставлены механизированные и немеханизированные способы ухода и возделывания чайной плантации. Для этого нами в 1978 г. был заложен полевой опыт в Гальском чайном совхозе (Абхазская АССР) на слабооподзоленной субтропической глинистой почве под культурой чая.

Гальский чайный совхоз расположен в северной части Колхидской низменности. Он занимает часть древней аллювиальной террасы с общим уклоном на запад. Поверхность участка слабоволнистая. Почвообразующими породами являются древние и современные аллювиальные отложения с суглинистым и глинистым составом, подстилаемые на различной глубине галечником. В глинистой толще на глубине 0,3–0,4 м часто обнаруживаются горизонты, пропитанные окислами железа и марганца различной мощности и цементации.

Опыт был заложен по следующей схеме (рис. 18):

1. Комплексная механизация — выполнение всех агротехнических мероприятий с помощью ММ.

2. Частичная механизация — немеханизированная обработка почвы в междурядьях, выполнение остальных агротехнических мероприятий с помощью ММ.

3. Частичная механизация — механизированная обработка почвы в междурядьях, выполнение остальных работ вручную или средствами малой механизации.

4. Без механизации — выполнение всех работ вручную или средствами малой механизации (контроль).

5. Комплексная механизация (аналогично производственным условиям).

Повторность каждого варианта трехкратная (кроме 5-го варианта, где была однократная повторность).

В опыте изучали воздействие на почву ходовых систем трактора Т-16ММЧ, на который навешиваются все орудия, предназначенные для выполнения комплекса агротехнических мероприятий при возделывании чая.

До закладки опыта в указанной плантации все агротехнические мероприятия, кроме сбора чайного листа, проводились с применением механизмов, а сбор чайного листа — вручную. Поэтому почва в зоне действия машин была достаточно уплотнена по сравнению с зоной ОД машин. Нами для устранения этого фактора была проведена перекопка почвы и выравнивание поверхности ее в междурядьях опытной плантации (кроме 5-го варианта). После этого были отобраны почвенные образцы для изучения исходного физического состояния почвы (табл. 77).

В опыте изучали в динамике плотность сложения почв, распределение ее

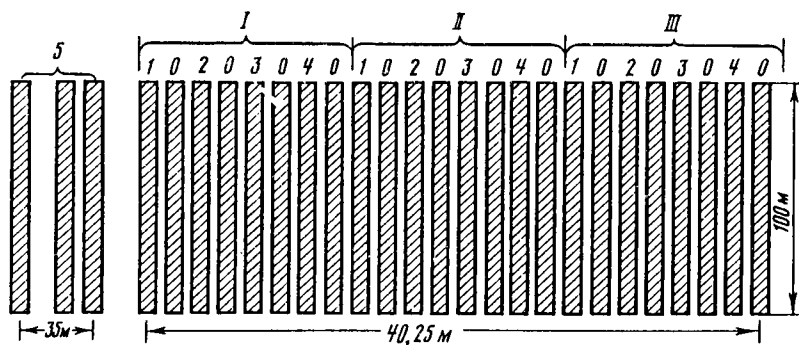
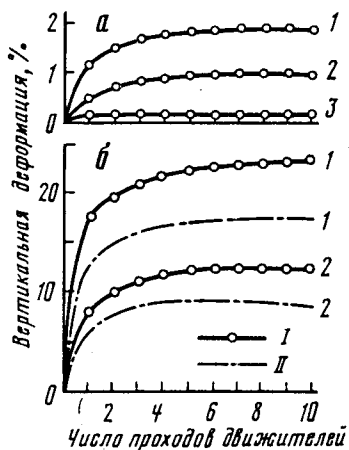


Рис. 18. Схема полевого опыта (Гальский чайный совхоз)

1, 2, 3, 4, 5 — варианты опыта, 0 — защитные ряды чая; I, II, III — повторности опыта

Рис. 19. Графики вертикальной деформации почвы на различной глубине

1 — 10–20 см; 2 — 20–30 см; 3 — 40–50 см в зависимости от числа проходов движителей. а — почва плотная; б — почва разрыхлена. I — трактор марки "Сакартвело"; II — трактор марки Т-16ММ4



по глубине, величину деформации поверхности, рост, развитие чайного куста и урожайность чайного листа, а также некоторые водно-физические свойства почвы.

В табл. 78 приведена плотность сложения почвы в междурядьях чайной плантации по вариантам после шестого года наблюдений. Как видно, плотность сложения почвы на полностью механизированных вариантах (1 и 5) в слое 0–20 см по сравнению с контролем соответственно возросла в среднем на 0,23–0,27, а в слое 40–50 см — на 0,04–0,03 г/см³. На варианте 3, где, кроме обработки почвы, все остальные работы выполнялись вручную, плотность почвы в слое 0–20 возросла лишь на 0,05 г/см³.

Для количественной оценки распределения напряжений и деформаций по профилю почвы под движителем тракторов в 1984 г. совместно с научным сотрудником Всесоюзного агрофизического научно-исследовательского института А.А. Охитиным было проведено измерение распределения напряжений и деформаций по профилю почвы под движителями чаеуборочных машин "Сакартвело" и трактора Т-16ММЧ.

Оценочным показателем уплотнения была вертикальная деформация по 10-сантиметровым слоям почвы до глубины 80 см под центром следа движителей после каждого из десяти проходов. Нормальные напряжения в

Исходное физическое состояние почвы на опытном участке

Глубина, см	Плотность сложения почвы, г/см ³		Наименьшая влагоемкость, % от веса	Твердость почвы, кгс/см ²	
	в зоне АД	в зоне ОД		в зоне АД	в зоне ОД
0-10	1,1	0,95	25,6	15	10
10-20	1,17	1,15	27,1	17	15
20-30	1,28	1,30	27,8	25	24
30-40	1,30	1,30	27,0	32	30
40-50	1,28	1,25	30,5	24	25

Таблица 78

Средняя плотность сложения почв в междурядьях чайной плантации по вариантам опыта, г/см³, 1983 г.

Вариант опыта	Глубина, см					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
1. Комплексная механизация	1,49	1,47	1,42	1,43	1,34	1,26
2. Частичная механизация (немеханизованная обработка почв в междурядьях)	1,41	1,44	1,43	1,40	1,31	1,24
3. Частичная механизация (механизованная обработка почв) в междурядьях, остальные работы - ручную	1,33	1,28	1,30	1,32	1,30	1,25
4. Без механизации (контроль)	1,26	1,24	1,24	1,31	1,30	1,24
5. Комплексная механизация (аналогично производственным условиям)	1,53	1,51	1,50	1,45	1,33	1,26

почве под движителями трактора измеряли до глубины 60 см во время каждого прохода.

Деформацию регистрировали с помощью устройства УРДТ-АФИ, а нормальные напряжения измеряли полупроводниковыми датчиками давления (Кузнецова и др., 1973; Охитин, Судаков, 1983).

Уплотняющее воздействие движителей машин "Сакартвело" и трактора Т-16ММЧ на почву в междурядьях чайной плантации исследовали на двух вариантах, различающихся исходной плотностью сложения почвы. В первом

случае была взята плантация, где все агротехнические операции проводили с применением ММ и плотность сложения почвы междурядий была типична для полностью механизированных плантаций — $1,50 \text{ г/см}^3$; во втором — почва была разрыхлена до глубины 40 см (плотность сложения почвы в среднем составила $1,21 \text{ г/см}^3$ и была типична для немеханизированных плантаций).

Наблюдения показали, что уже после первого прохода чаеуборочной машины "Сакартвело" по рыхлой почве плотность сложения ее на глубине 10–20 см при влажности 29% от веса (0,75 НВ) достигает критического значения — $1,33 \text{ г/см}^3$, пористость аэрации — 15%, а после второго прохода — соответственно $1,40 \text{ г/см}^3$ и 12%. Как следует из рис. 19, трактор Т-16ММЧ меньше уплотняет почву, чем чаеуборочная машина "Сакартвело". Надо отметить, что после 10 проходов чаеуборочной машины "Сакартвело" и без того плотная почва уплотнилась еще на $0,04 \text{ г/см}^3$, а величина плотности сложения в верхнем слое достигла $1,54 \text{ г/см}^3$. С глубиной воздействие ходовых систем указанной машины на почву постепенно ослабевало, минимальные изменения наблюдались в слое 40–50 см. Это объясняется тем, что указанный слой является, вероятно, границей распространения уплотняющих давлений машины "Сакартвело" на данном варианте.

Отрицательное воздействие ходовых систем ММ на почву и изменение того или иного свойства в ней в конечном итоге отражается на урожайности выращиваемых культур. Известно, что каждая культура по-разному реагирует на происходящие в почве изменения.

Исследование показало, что чайная культура не сразу реагирует на переуплотнение почв в междурядьях, ее отзывчивость к уплотнению почв некоторое время незначительна (последнее справедливо, если уплотнение почв не сопровождается образованием колеи и застаиванием в них атмосферных осадков). Так, с использованием ММ на опытных вариантах (1, 2, 3) в первый же год исследования плотность сложения почвы сразу увеличилась на 15% (исходная $1,21 \text{ г/см}^3$), но уменьшение урожайности чайного листа замечалось лишь после третьего года наблюдений. Это объясняется тем, что в междурядьях от воздействия ходовых систем ММ и других внешних факторов почва уплотняется лишь на 28% общей зоны питания чайного куста (при ширине междурядий 1,75 м).

В табл. 79 приведено изменение урожайности чайного листа по вариантам после шестого года наблюдений. Как видно из данных таблицы, явное уменьшение урожайности чайного листа зафиксировано лишь в варианте 5, где все агротехнические мероприятия выполняли с использованием ММ аналогично производственным условиям. В частности, на этом варианте урожайность чайного листа по сравнению с контролем уменьшилась на 25,5%, на соответствующем ему опытному варианту 1 — на 17,8%. На варианте, где все операции, кроме обработки почв, проводились вручную (вариант 3), уменьшение урожая чайного листа не превышало 8,3%.

Важно отметить, что при обследовании чайных плантаций в разных совхозах Колхидской низменности были замечены нарушения при применении ММ, в частности несоблюдение глубины обработки почв — вместо 5–6 см почву обрабатывали на глубину 10–12 см и больше. Не учитывался такой очень существенный для уплотнения почв фактор, как влажность

Урожайность чайного листа по вариантам опыта. 1983 г.

Вариант опыта	Площадь учетных делянок, м ²	Урожайность		
		на делян- ках, кг	ц/га	% от контро- ля
1. Комплексная механизация	420	146,1	34,8	82,2
2. Частичная механизация (немеханизированная обработка почвы в междурядьях)	420	154,0	36,7	86,7
3. Частичная механизация (механизированная обработка почвы в междурядьях)	420	163,0	38,8	91,7
4. Без механизации (контроль)	420	177,7	42,3	100
5. Комплексная механизация (аналогично производственным условиям)	2450	772,0	31,5	74,4

почвы при ее обработке и при сборе чайного листа. Нередко она значительно выше, чем допустимо при проходе ММ.

При таких нарушениях культиваторы во время обработки почвы могут обрезать корневую систему чайных кустов, а также образовывать бороздки в междурядьях. Во время сбора чайного листа мобильная чаеуборочная машина "Сакартвело", которая имеет большой вес и значительную вибрацию, сильно "вытаптывает" переувлажненную почву и выдавливает ее из-под движителей.

Исследованием было установлено, что при пониженной влажности — до 26% — движитель чаеуборочных машин не оставляет следы в междурядьях и уплотнение почвы незначительное. При влажности 30—33% по обеим сторонам движителей замечены частичный срез и горизонтальные сдвиги поверхности почв, при влажности свыше 35% отмечается выдавливание почвы из-под колес с обеих сторон и образование колей.

Из приведенного нами анализа ясно, что применение ММ дает минимальное отрицательное воздействие тогда, когда влажность почвы не превышает 29%, при влажности свыше 35% необходимо использовать только средства малой механизации.

На опытной участке (на вариантах 1, 2, 3) соблюдали все вышеизложенные требования при применении ММ, в результате чего на варианте 1 уменьшение урожайности чайного листа значительно меньше (17,8%), чем на варианте 5 (25,5%) по сравнению с контролем. Таким образом, рациональное применение ММ даст возможность уменьшить их отрицательное воздействие на почву (образование колей в междурядьях и т.д.) и на урожайность чайного листа.

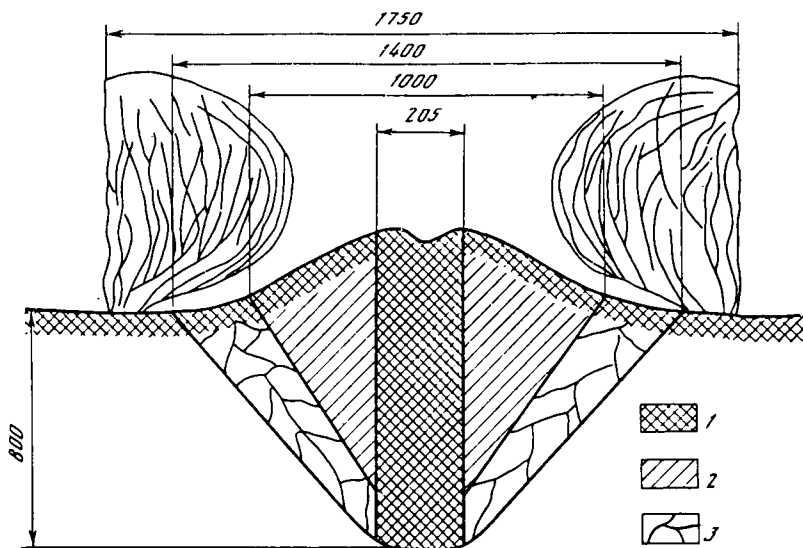


Рис. 20. Схема рыхления междурядий чайной плантации глубокорыхлителем ГРНЧ-2
 1 — зона интенсивного рыхления; 2 — зона частичного рыхления; 3 — следы трещин. Размеры — в миллиметрах

Для уменьшения уплотняющего воздействия ММ на почву, предотвращения образования колес в междурядьях и увеличения урожайности чайных плантаций в республике проводятся значительные научно-практические работы. На их основании предложен для внедрения в производство ряд технических и агротехнических приемов (увеличение профиля шины чаеуборочных машин, уменьшение веса чаеуборочного аппарата, укладка армированных железобетонных плит в зоне АД, оставление в виде мульчи подрезочных материалов, сокращение числа проходов ММ на чайных плантациях и др.). Все эти приемы в какой-то мере уменьшают отрицательные последствия воздействия ходовых систем ММ, но полностью не устраняют переуплотнения почв.

Для разуплотнения профиля почв нами разработана специальная машина ГРНЧ-2 для глубокого рыхления почв в междурядьях чайной плантации. Она навешивается на трактор Т-130 и рыхлит почву одновременно в двух междурядьях до глубины 80 см. Рыхлитель разрыхляет уплотненные почвенные слои в междурядьях и разрушает сцементированные (ортштейновые) горизонты, чем улучшает водно-воздушный режим почвы, жизнедеятельность растений и повышает урожайность чайного листа (Шубитидзе и др., 1982).

После прохода агрегата почва в междурядьях разрыхляется на ширину 130 см, по дну — до глубины 25 см, полностью устраняется предыдущая деформация — понижение почвы. В середине междурядий поверхность почвы после прохода ГРНЧ-2, наоборот, возвышается до 20–25 см по сравнению с почвой под кустом (рис. 20). Также улучшается фильтрация почвы, исключается застой воды в междурядьях и, что главное, улучшается жизнедеятельность чайного куста и возрастает сбор чая. Например, в Ху-

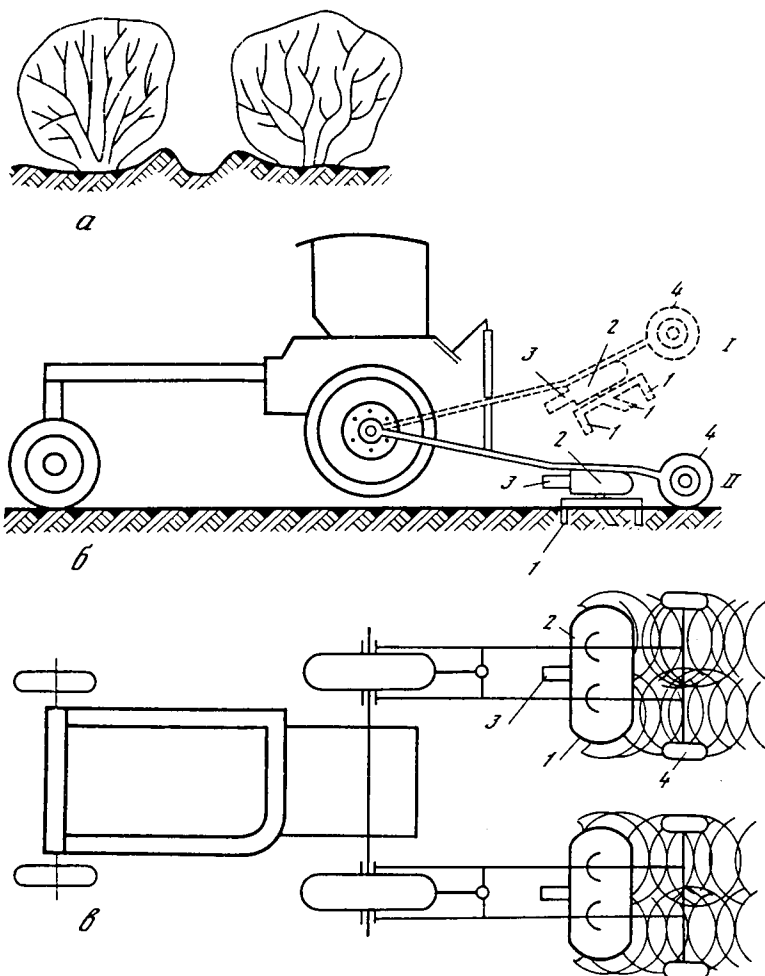


Рис. 21. Фрезмашина для выравнивания деформированной поверхности почвы в междурядьях чайной плантации

а — деформированное междурядье чая после многократного прохода ММ; *б* — схема агрегатирования фрезмашины с трактором в транспортном (*I*) и рабочем (*II*) положениях; *в* — (вид сверху) фрезмашина в работе; 1 — рабочий орган, 2 — редуктор, 3 — гидромотор, 4 — колесо регулировки глубины обработки почвы

мушкурском чайном совхозе (Гальский район Абхазской ССР) на третьем году после рыхления почвы в малоурожайной, угнетенной чайной плантации урожайность возросла на 10% по сравнению с плантацией, где не проводилось глубокое рыхление. Глубокорыхлитель ГРНЧ-2 прошел государственные испытания, оценен положительно, включен в систему машин и рекомендован для серийного производства.

Для выравнивания деформированных поверхностей почв в междурядьях, образовавшихся после длительного применения ММ, нами раз-

работана конструкция почвообрабатывающей фрезмашины с парными рабочими органами, вращающимися навстречу друг другу в горизонтальной плоскости (Шубитидзе и др., 1982). Она навешивается сзади колес трактора Т-16ММЧ (две секции независимо одна от другой) и одновременно производит обработку почвы и выравнивание деформированных мест (колеи) сразу в двух междурядьях (рис. 21). Выравнивание деформированной поверхности почв и колеи производится указанной машиной за счет срезания почв на возвышенных местах, находящихся по обе стороны от центра междурядий. Благодаря вращению навстречу друг другу двух крестовин с ножами (рабочий орган) срезанная земля перемещается к центру междурядий и засыпается в пониженные места колеи.

Вращение рабочих органов фрезмашины производится червячным редуктором. Последний изготовлен из двух колес, между которыми установлен червяк. Привод червячного редуктора осуществляется гидромотором. Глубина обработки почвы регулируется колесом.

Все изложенное позволяет сделать следующие выводы.

При длительном применении ММ в чайных плантациях почва в середине междурядий сильно уплотняется, деформируется ее поверхность и в некоторых местах образуется колея. Все это ухудшает водно-физические свойства почвы, рост, развитие и урожайность чайного листа. Уплотняющее воздействие ММ в основном распространяется до 40 см вглубь и на 40–50 см по ширине.

Отзывчивость чайной культуры на уплотнение почвы особенно высока в таких местах междурядий, где образованы колеи и происходит застой атмосферных осадков.

При рациональном применении ММ их отрицательные воздействия на почву и растение значительно меньше. При переувлажненном состоянии почвы в междурядьях необходимо широко использовать средства малой механизации по возделыванию чая.

Для одновременной обработки почвы и выравнивания деформированных мест (колеи) в междурядьях целесообразно использовать разработанную авторами фрезмашину с парными рабочими органами, вращающимися навстречу друг другу в горизонтальной плоскости. На плантациях, где наблюдается переуплотнение почвы в междурядьях и уменьшение урожайности чайного листа, необходимо проводить глубокое рыхление почвы, которое эффективно осуществляется глубокорыхлителем ГРНЧ-2.

ЧЕРНОЗЕМЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Черноземы Западно-Сибирской провинции занимают около 4 млн. га, или 16% ее земельного фонда (Ковалев и др., 1967). Провинциальными особенностями являются небольшая мощность гумусового горизонта ($A+AB = 30-60$ см) при высоком (5–9%) содержании гумуса и резком его снижении вниз по профилю, а также неглубокое размещение корневой системы растений.

Среди черноземов значительную долю составляют обыкновенные и выщелоченные черноземы. Механический состав выщелоченных и обыкновенных черноземов преимущественно тяжело- и среднесуглинистый, реже глинистый, микроструктурность хорошая, макроструктурность плохая:

водопрочных агрегатов диаметром более 1 мм 10–11% (Панфилов, 1973). Содержание водопрочных агрегатов $> 0,25$ мм колеблется от 30 до 70% от массы почвы. Объемная масса пахотного слоя 1,0–1,1 г/см³, она увеличивается с глубиной до 1,4–1,6 г/см³, удельная масса соответственно составляет 2,5–2,7 г/см³.

Гумусовый горизонт отличается высокой общей порозностью – 55–53%, в нижележащих слоях она снижается до 40–50%. В составе общей порозности преобладают микропоры менее 3 мкм и активные капиллярные поры 3–60 мкм. Микропоры менее 3 мкм в обыкновенном старопашотном черноземе составляют 67,2%, капиллярные – 9,6 и некапиллярные – 23,2%. С глубиной качественный состав пор мало изменяется.

При наименьшей влагоемкости (НВ) объем пор, занятых воздухом, составляет 18–27% от общего объема, а почвенная влага – 15–24%. Однако в лесостепной и особенно в степной зоне оводненность порового пространства, как правило, бывает ниже НВ, а в конце вегетации растений опускается до влажности завядания и ниже.

Уплотняющее и разуплотняющее воздействие машинных агрегатов на черноземы Западной Сибири пока изучены слабо. Между тем интенсивность воздействия машин и орудий на почву возрастает, оказывая чаще всего отрицательное влияние на физико-механические и другие свойства почвы. На фоне еще не прекращающихся местами эрозионных процессов, снижающегося содержания гумуса, ухудшения водно-физических свойств дальнейшая интенсификация механических воздействий на почву чревата еще большими, а иногда необратимыми отрицательными последствиями для земледелия.

Рассматривая характер уплотняющего воздействия машин на агрофизические, физико-механические свойства и урожай, необходимо привести оптимальные показатели сложения пахотного слоя, которые обеспечивают максимальный урожай зерновых. По данным А.И. Шевлягина (1966), на выщелоченных тяжело- и среднесуглинистых черноземах (ОПХ "Омское") оптимальное сложение пахотного слоя для яровой пшеницы и кукурузы составляет 1,0–1,2 г/см³, для ячменя – 1,2–1,3 г/см³. Однако сложение почвы не может быть постоянным, оно динамично, особенно в теплый период года, и существенно изменяется при ежегодных основных обработках почвы. Решающее значение в этих изменениях играют уплотняющие и разрыхляющие деформации. Учитывая, что первые менее изучены и обычно вызывают дополнительные энергозатраты на механические обработки, следует рассмотреть их роль в процессе уплотнения почвы.

Установлено, что из основных видов почвенных деформаций (консолидации, криогенные, биологические, просадки, усадки, набухания, машинные) на сложение корнеобитаемого слоя и его почвенные режимы наиболее существенно влияют последние четыре вида.

Весной в процессе поступления талых вод и их миграции в более глубокие горизонты содержание почвенной влаги в рыхлом пахотном слое постепенно снижается, расстояние между почвенными частицами уменьшаются – происходит просадочное уплотнение. На местных черноземах оно заканчивается к моменту физической спелости почвы, и объемная масса обычно приближается к 1,0 г/см³. Дальнейшее подсыхание почвы сопряжено с возрастанием внутренних локальных напряжений, что ведет

Длительность деформации, мин, в зависимости от влажности почвы и удельной нагрузки

Высота почвенной колонки, мм	Насыпная плотность почвы, г/см ³	Влажность почвы, %	Удельная нагрузка, кгс/см ²			
			0,06	0,1	0,3	0,6
265	0,97	12,4	0,8	2,3	3,8	7,1
280	0,87	21,4	3,1	5,0	7,2	9,8
328	0,80	28,3	5,9	8,3	11,3	15,2

к повышению плотности, а в местах слабых структурных связей — к их разрыву и образованию трещин.

В зависимости от исходной плотности, которая обычно обусловлена воздействием машинных агрегатов, величина усадочных деформаций может быть различной: на рыхлой почве (0,9 г/см³) объем усадки составляет 11,7–12,6%, на среднеплотной (1,1 г/см³) — 7,3–7,6 и на переуплотненной (1,3 г/см³) — 3,7–5,1%.

При иссушении выщелоченного тяжелосуглинистого чернозема плотность повышается от 1,1 до 1,17 г/см³, а повторное увлажнение возвращает почву к первоначальному состоянию.

В практике земледелия основное воздействие на сложение почвы оказывают машинные агрегаты. Деформирующие усилия ходовых систем, рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий в отличие от деформаций, вызываемых природными факторами, более значительны, скоротечны и сопровождаются образованием новых структурных связей и структурного состава почвы. Особенно сильно уплотняют почву ходовые системы машин, работающие на рыхлой и влажной почве в предпосевной период.

С целью уточнения этого влияния на водно-физические, химические и физико-механические свойства и урожай были проведены специальные исследования. На первом этапе определялись длительность и величина сжатия различно уплотненного и увлажненного выщелоченного среднесуглинистого чернозема, для чего использовали специальный прибор с жесткими стенками — одометр.

В цилиндр засыпалось 800 г почвы (в переводе на абсолютно сухую массу). Высота почвенной колонки была близкой к мощности пахотного слоя. Время воздействия заданной удельной нагрузки на почву считалось с момента касания прессовального диска ее поверхности и до стабильных показаний последних 3 мин. Величина деформации почвенной колонки и время затухания напряжения (релаксация) записывались на ленту. Результаты наблюдения представлены в табл. 80.

Как видим, растянутость процесса уплотнения зависит от ряда условий. С увеличением удельной нагрузки и влажности почвы длительность деформации заметно возрастает и достигает в наших наблюдениях 15,2 мин. Однако основная часть (80–85%) деформации при воздействии максимальной нагрузкой протекает в первую секунду. Опыт также показал, что исходная плотность насыпного образца существенно зависит от уровня увлажнения.

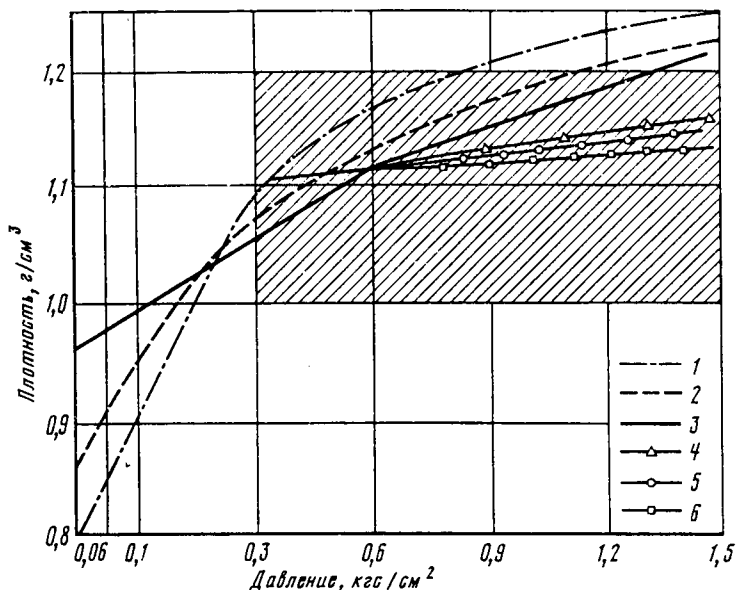


Рис. 22. Уплотняемость почвы в зависимости от ее начальной влажности, плотности и удельного нагрузочного напряжения.

Почва рыхлая: 1 — увлажненная до НВ, 2 — ВРК, 3 — ВЗ; почва уплотненная до 1,1 г/см³: 4 — увлажненная до НВ, 5 — ВРК, 6 — ВЗ. Заштрихована зона оптимальной плотности

Более влажная почва формирует более рыхлое сложение, а менее влажная — уплотненное. Однако при уплотнении возрастающими нагрузками наибольшее уплотнение наблюдается на более влажной почве. При максимальной нагрузке 1,5 кгс/см² слабоувлажненная почва уплотнилась в среднем до 1,20, среднеувлажненная и хорошо увлажненная — до 1,23 г/см³ (рис. 22).

Наблюдения велись также с уплотненной до 1,1 г/см³ почвой. Воздействие нагрузки 0,3–1,5 кгс/см² показало, что, как и в первом случае, более значительное уплотнение отмечается на более увлажненной почве. Одна и та же нагрузка при всех уровнях увлажнения обуславливает меньшее уплотнение, чем на почве с рыхлым насыпным сложением.

Таким образом, лабораторные исследования позволяют утверждать, что максимальные в нашем опыте нагрузочные напряжения 1,5 кгс/см² не вызвали большего переуплотнения исходно рыхлой и уплотненной почвы. Параметры плотности почвы в основном находились в пределах оптимальных границ.

По обобщенным данным И.С. Рабочева и др. (1978), приблизительно можно указать на допустимые границы удельных нагрузок в процессе выполнения сельскохозяйственных работ. Так, для ранневесеннего боронования зяби считается допустимой нагрузка до 0,4 кгс/см² на предпосевной обработке, при посеве и прикатывании — 0,5–0,6, на летних и осенних работах — 1,0–1,5 кгс/см². Давление же ходовых аппаратов выпускаемых колесных тракторов составляет 0,85–1,65 кгс/см², гусеничных — 0,6–0,8, прицепов —

3–4, зерновых сеялок – 1,8–2,4 кгс/см². Кроме того, при многооперационной технологии количество уплотняющих наложений заметно возрастает.

Например, по нашим расчетам, доля площади поля, подвергавшаяся уплотнению машинно-тракторными агрегатами с учетом принятой технологии возделывания пшеницы в лесостепи Омской области, составляет при однократном уплотнении 46,7%, двукратном – 17,1, трехкратном – 4,1, четырехкратном – 0,8, а в сумме – 68,7%. При исключении глубокой зяблевой обработки и наложении тех же операций на второй год однократному уплотнению подвергается 32,2% площади, двукратному – 28,4, трехкратному – 21,9, четырехкратному – 5,4, пятикратному и более – 2,4%, а в сумме – 90,3%; на третий год при повторении данной технологии уплотняется соответственно 20,4; 29,5; 34,8; 9,5 и 2,7, а в сумме 96,9% площади. Таким образом, на второй и третий годы почти вся площадь поля будет уплотнена ходовыми системами машинных агрегатов.

Параллельно лабораторным исследованиям по более широкой программе велись полевые работы. С их помощью нужно было уточнить характер воздействия тракторов как наиболее мощного фактора уплотнения и разрушения выщелоченных и обыкновенных черноземов.

Это воздействие изучалось на фоне различных осенних обработок, предшественников, различной степени увлажнения по срокам (первый срок – перед боронованием зяби весной, второй срок – перед посевом). Ставилась задача – установить влияние тракторных уплотнений на некоторые элементы плодородия почвы и урожай пшеницы.

Почва для весеннего уплотнения готовилась с осени. Предшественники: чистый пар и пшеница по пару. В чистом пару проводилась вспашка на глубину 20–24 см, в другом варианте – плоскорезное рыхление на 10–14 см, на пшенице – вспашка на 20–24 см, а также вариант без осенней обработки.

Время воздействия тракторов на почву рассчитывалось исходя из средней скорости движений 5,5 км/ч. Наблюдения показали, что при первом проходе тракторы К-700 и Т-150К уплотняют вспаханную на 20–24 см почву на 90–95%, при втором – на 2–4%, при третьем и последующих проходах сложение стабилизируется. Основные уплотняющие деформации происходят при первом проходе агрегатов, доля их в весеннем цикле работ наибольшая в сравнении с долей 2- и 3-кратных наложений, поэтому в опытах проводилось сплошное уплотнение тракторами.

Исследования показали, что тяжелые тракторы Т-150К и К-700 существенно повышают объемную массу пахотного слоя почвы (табл. 81). Так, в чистом пару ДТ-75 в первый срок уплотняет отвальную зябь на 6,1, а К-700 – на 10,2%, доводя объемную массу соответственно до 1,04 и 1,08 г/см³, порозность уменьшилась на 3,7 и 6,1%, аэрация – на 10,4 и 19,5%. На фоне вспашки, но под вторую пшеницу ДТ-75 уплотнил пахотный слой на 11,1%, К-700 – на 17,1%, доводя объемную массу до 1,10 и 1,16 г/см³, порозность снизилась соответственно на 6,8 и 11,6, аэрация – на 21,5 и 33,3%. Аналогичная картина наблюдалась на обработанной плоскорезом почве под паром, заметно слабее выражены уплотняющие деформации на необработанной и исходно более уплотненной почве.

По величине уплотнения второй срок мало отличается от первого на всех фонах обработки. Однако в связи с некоторыми потерями влаги из почвы на всех фонах механической обработки отмечается некоторое снижение

Влияние уплотнения тракторами на физические свойства почвы. Слой 0–26 см, 1976–1978 гг.

Предшественник	Осенняя обработка почвы	Вариант опыта	1-й срок (перед образованием зяби)			2-й срок (перед посевом)			
			Объемная масса, г/см ³	Порозность, %	Аэрация, %	Объемная масса, г/см ³	Порозность, %	Аэрация, %	
Чистый пар	Вспашка	Без уплотнения	0,98	62,3	30,8	1,00	61,5	38,4	
		ДТ-75	1,04	60,0	27,6	1,03	60,4	36,6	
		МТЗ-50	1,03	60,4	28,3	1,04	60,0	36,0	
		Т-150К	1,09	58,1	24,1	1,07	58,8	34,1	
		К-700	1,08	58,5	24,8	1,10	57,7	32,3	
		НСР _{0,5}	0,04	—	—	0,02	—	—	
		Плоскорезная	Без уплотнения	0,99	61,9	34,2	0,97	62,7	44,8
	ДТ-75		1,04	60,0	30,9	1,01	61,2	42,5	
	МТЗ-50		1,06	59,2	29,5	1,03	60,4	41,3	
	Т-150К		1,10	57,7	26,5	1,04	60,0	40,8	
	К-700		1,10	57,7	26,9	1,06	59,2	39,6	
	НСР _{0,5}		0,05	—	—	0,04	—	—	
	Пшеница по пару		Вспашка	Без уплотнения	0,99	61,9	34,0	1,03	60,4
		ДТ-75		1,10	57,7	26,7	1,13	56,5	30,2
МТЗ-50		1,11		57,3	26,0	1,12	56,9	30,8	
Т-150К		1,15		55,8	23,4	1,14	56,2	29,6	
К-700		1,16		55,4	22,7	1,13	56,5	30,2	
НСР _{0,5}		0,02		—	—	0,03	—	—	
Без обработки		Без уплотнения		1,08	58,3	28,9	1,08	58,3	36,1
		ДТ-75	1,11	57,3	26,9	1,10	57,7	34,9	
		МТЗ-50	1,09	58,1	28,2	1,13	56,5	33,1	
		Т-150К	1,12	56,9	26,2	1,15	55,8	32,0	
		К-700	1,14	56,2	25,0	1,15	55,8	32,0	
		НСР _{0,5}	0,03	—	—	0,04	—	—	

уплотняющего воздействия. Показатели общей порозности во всех вариантах опыта находились в оптимальных пределах. Лишь по мере высыхания почвы к началу сева возросла величина аэрации.

Представляет интерес и послойное уплотнение пахотного и подпахотного слоев (табл. 82). Если верхний слой 0–10 см в результате предпосевных обработок не претерпевает особых изменений, то нижние слои уплотняются, причем с глубиной степень деформации почвы затухает. Например, трактор К-700 на фоне вспашки уплотняет слой 10–18 см на 15,3%, слой 18–26 см на 11,3 и 26–34 см на 1,6%, на фоне плоскорезной обработки – соответственно на 10,1 6,9 и 0,7%. Подобным образом уменьшаются порозность и аэрация.

Более чем 15-летний стационарный опыт Г.Н. Палецкой (ОПХ "Омское") с применением пахотной и беспашотной технологии и использованием тракторов ДТ-75 и МТЗ-50 показал, что ожидаемого переуплотнения пахотного слоя не произошло. Даже при полном исключении вспашки и глубокого рыхления плотность слоя 0–30 см составила 1,12 г/см³. Все указанные наблюдения свидетельствуют о сравнительно высокой устойчивости сибирских черноземов к уплотнению. Это свойство, как отмечалось, тесно связано с повышенным содержанием водопрочных агрегатов и гумуса¹.

Влияние воздействия тракторных движителей на агрегатный состав почвы недостаточно изучен. В литературе по этому вопросу существуют противоречивые мнения. Исследования показали, что уплотнение влажной почвы, произведенное тракторами, приводит в течение вегетационного периода к увеличению ветроустойчивых агрегатов более 1,0 мм за счет уменьшения содержания пылевидной фракции (менее 0,25 мм) и промежуточной (1–0,25 мм, табл. 83). Возрастает и количество водоустойчивых агрегатов более 0,25 мм под первой пшеницей по пару и снижается под второй. Эти изменения структурного состава повышают устойчивость почвы к ветровой эрозии и к воздействию тех или иных деформаторов. На непаровой почве в оба срока происходило снижение водопрочных агрегатов более 0,25 мм. Повидимому, разрушение агрегатов связано с воздействием непарового предшественника на менее увлажненную почву.

Уплотнение почвы, как известно, увеличивает капиллярную и уменьшает некапиллярную порозность, а это усиливает передвижение влаги в сторону более плотной почвы. Эта закономерность четко прослеживается и в наших опытах. Так, перед посевом первой пшеницы в уплотненном слое 0–30 см влаги было на 4 мм больше, чем в неуплотненном (табл. 84), а перед посевом второй пшеницы в пару – на 8 мм, в слое 0–50 см – соответственно на 3 и 16 мм. Превышение влаги в указанных слоях за счет нижнего полуметра сохраняется и в фазу колошения пшеницы. В метровом слое содержание воды, как правило, бывает различным, какой-либо закономерности не обнаруживается.

Уплотнение тракторами оказывает влияние на содержание в почве нитратного азота (табл. 85). Например, на вспашке, как правило, в период всходов пшеницы повышается содержание азота. Позже, в фазу трубки, на

¹ Следует обратить внимание на то, что в полевых условиях это положение автор установил без учета влажности почвы (эти данные не приведены), а в лабораторных – на основе наблюдений в одометре, имеющем жесткие стенки, что неадекватно естественным условиям. (Примеч. ред.)

Влияние ходовых систем тракторов
на степень послыйного уплотнения почвы.
Уплотнение в 1-й срок, пар, 1976–1978 гг.

Прием обработки зяби	Вариант опыта	Слой почвы, см	Объемная масса, г/см ³	Общая порозность, %	Аэрация, %		
Вспашка	Без уплотнения	0–10	0,88	66,2	45,9		
		10–18	0,91	65,0	44,0		
		18–26	1,15	55,8	29,3		
		26–34	1,27	51,3	24,8		
		0–34	1,05	59,5	36,0		
	К-700	0–10	0,90	65,4	44,7		
		10–18	1,05	59,6	35,4		
		18–26	1,28	50,8	21,3		
		26–34	1,29	49,4	20,0		
		0–34	1,13	56,2	30,3		
		Плоскорезная	Без уплотнения	0–10	0,84	67,7	52,4
				10–18	0,99	62,0	43,8
				18–26	1,15	55,8	34,7
				26–34	1,28	50,8	24,3
0–34	1,06			59,1	38,8		
К-700	0–10		0,98	62,3	44,3		
	10–18		1,09	58,1	38,1		
	18–26		1,23	52,7	30,1		
	26–34		1,29	49,4	23,2		
	0–34		1,15	56,7	33,9		

уплотненных вариантах пшеницы по пару его становится меньше, чем на контроле, а на второй пшенице больше. При уплотнении почвы, обработанной плоскорезами, и необработанной почвы вначале отмечается понижение содержания азота, а потом оно становится несколько выше, чем в контроле. Случаи повышенного содержания азота связаны с лучшей влажностью верхнего 40-сантиметрового слоя и прогреваемостью. Температура уплотненной почвы в пахотном слое была на 1,4° выше. Все это активизировало нитрификационные процессы. Полученные результаты, к сожалению, не позволяют достаточно обоснованно объяснить динамику содержания азота в почве. Существенных отклонений в содержании фосфора и калия после наложения уплотнений обнаружить не удалось.

Чтобы правильно оценить вредность тракторного уплотнения корнеобитаемого слоя, в специальных опытах выявлялось влияние различного уплотнения почвы на ее плодородие и урожай пшеницы. Почва — слабовыщелоченный среднесуглинистый чернозем (ОПХ "Омское").

Полученные материалы показали, что как очень рыхлая (0,9 г/см³) так и переуплотненная (до 1,3 г/см³) почва снижает урожай 1-й, 2-й и 3-й пшеницы после чистого пара (табл. 86).

Урожайность пшеницы по пару, выращенной на рыхлой почве, снизилась по сравнению с максимальной, полученной на среднетростной почве, на 15,3%, а на переуплотненной — на 16,5%, второй пшеницы — соответствен-

Влияние тракторного уплотнения на агрегатный состав почвы, %.
Вспашка, слой 0–30 см, 1976–1978 гг.

Поле сево- оборота	Срок уп- лотнения	Размер аг- регатив, мм	Вариант опыта				
			без уп- лотне- ния	ДТ-75	МТЗ-50	Т-150К	К-700
Сухое просеивание							
Пшеница по пару	Первый	> 1	68,3	78,2	75,1	73,0	83,7
		1–0,25	16,4	12,3	14,8	15,7	8,2
		< 0,25	15,3	9,5	10,1	11,6	8,1
	Второй	> 1	66,3	71,8	68,6	75,8	78,6
		1–0,25	19,8	15,3	19,7	11,5	9,6
		< 0,25	13,9	12,9	11,7	12,7	11,8
Вторая пше- ница	Первый	> 1	60,5	71,6	68,3	80,1	67,7
		1–0,25	18,7	12,8	15,1	9,8	14,4
		< 0,25	20,8	15,6	16,6	10,1	17,9
	Второй	> 1	63,4	69,9	73,1	67,8	78,8
		1–0,25	18,8	13,8	12,2	15,0	11,1
		< 0,25	17,8	16,3	14,7	17,3	10,1
Мокрое просеивание							
Пшеница по пару	Первый	> 0,25	45,6	52,9	56,2	56,0	64,2
	Второй	< 0,25	47,2	50,7	51,0	47,4	53,0
Вторая пшеница	Первый	> 0,25	54,5	53,6	48,6	49,5	49,4
	Второй	< 0,25	56,4	56,1	55,6	53,9	49,5

но на 38,4 и 30,1% и третьей – на 18,6 и 7,9%. Следует заметить, что во влажные годы наиболее высокий урожай формируется при плотности пахотного слоя почвы меньше $1,1 \text{ г/см}^3$, в сухие, наоборот, при плотности больше $1,1 \text{ г/см}^3$. Указанные изменения плотности почвы связаны с усадкой и набуханием. В сухие годы вследствие усадки плотность повышается, во влажные набухание разуплотняет почву. Таким образом, оптимальная плотность пахотного слоя в пределах $1,0–1,2 \text{ г/см}^3$ в различные по погодным условиям годы по этим исследованиям снижала коэффициент водопотребления, улучшала структурообразование, почвенное питание растений, активизировала микробиологические процессы, ускорила созревание зерна на 2–4 дня и повышала урожайность пшеницы.

Анализ данных по урожайности, полученных по различным предшественникам, на фоне различных зяблевых обработок и уплотнения тракторами, показал, что однократное уплотнение движителями, проведенное перед боронованием зяби в чистом пару на фоне вспашки не снижает урожай, в отдельных случаях даже повышает его (табл. 87), например, на второй пшенице при воздействии тракторами МТЗ-50 и Т-150К. При уплотнении во второй срок отмечается существенное повышение урожая первой пшеницы

Влияние тракторного уплотнения почвы
на содержание в ней продуктивной влаги, мм.
Вспашка 1976–1978 гг.

Время определения	Вариант опыта	Слой почвы, см			
		0–30	0–50	50–100	0–100
Пшеница по пару					
Перед посевом	Без уплотнения	28	49	52	101
	К-700	32	52	48	100
Фаза колошения	Без уплотнения	13	22	21	43
	К-700	18	28	24	52
Вторая пшеница по пару					
Перед посевом	Без уплотнения	27	38	45	83
	К-700	35	54	50	104
Фаза колошения	Без уплотнения	3	3	17	20
	К-700	7	9	11	20

Таблица 85

Влияние тракторного уплотнения почвы в первый срок
на содержание в ней нитратного азота, мг/кг.
Слой 0–40 см, 1976–1978 гг.

Поле севооборота	Время определения	Приемы обработки зяби	Вариант опыта				
			без уплотнения	ДТ-75	МТЗ-50	Т-150К	К-700
Пшеница по пару	После посева	Вспашка	27,6	38,6	29,9	—	34,3
		Плоскорезное рыхление	35,9	31,1	24,3	31,7	22,2
Вторая пшеница		Вспашка	19,5	22,8	23,5	13,5	25,4
		Плоскорезное рыхление	17,3	11,0	18,3	8,1	14,6
Пшеница по пару	В фазу трубкавания	Вспашка	20,2	18,4	14,7	—	13,2
		Плоскорезное рыхление	19,5	18,7	15,8	20,0	12,5
Вторая пшеница		Вспашка	11,1	6,6	13,5	9,0	3,5
		Плоскорезное рыхление	Ст	4,7	5,4	6,7	3,6

Влияние плотности почвы на урожай пшеницы, ц/га

Плотность слоя 0-30 см, г/см ³	Пшеница по пару (1973-1975 гг.)	Вторая пшеница (1974-1975 гг.)	Третья пшеница (1975 г.)
0,9	21,6	11,9	14,5
1,0	24,5	17,9	13,0
1,1	25,5	19,3	17,8
1,2	22,8	13,8	15,3
1,3	21,3	13,5	16,4
НСР _{0,5}	1,0-2,5	0,8	2,2

Таблица 87

Влияние тракторного уплотнения почвы на урожайность пшеницы.
Среднее за 1976-1978 гг.

Культура	Вариант опыта	Вспашка		Плоскорезная обработка	
		Уплотнение перед боро- нованием зяби	Уплотне- ние перед посевом	Уплотне- ние перед боронова- нием зяби	Уплотнение перед посе- вом
Первая пшени- ца по пару	Без уплотнения (контроль)	18,3	17,5	16,0	15,8
	ДТ-75	17,6	19,6	19,1	18,7
	МТЗ-50	18,6	20,0	17,5	17,9
	Т-150К	17,5	20,4	16,3	19,3
	К-700	17,7	20,3	16,8	18,6
	НСР _{0,5}	2,0	1,6	1,2	1,6
Вторая пше- ница	Без уплотнения (контроль)	17,8	15,2	17,1	16,1
	ДТ-75	17,9	15,4	15,9	15,7
	МТЗ-50	19,6	13,4	15,2	14,9
	Т-150К	20,0	13,3	16,5	16,3
	К-700	17,3	18,3	15,6	15,0
	НСР _{0,5}	1,4	0,9	1,3	1,0

на всех вариантах и снижение урожая второй пшеницы, в частности при воздействии тракторами МТЗ-50 и Т-150К.

Уплотнение зяби, обработанной плоскорезами, проведенное в первый срок, достоверно повышает урожай лишь при уплотнении тракторами ДТ-75 и МТЗ-50, а во второй срок существенная прибавка урожая отмечается на всех уплотненных вариантах. Уплотнение в оба срока необработанной с осени почвы ведет к некоторому снижению урожайности пшеницы. В целом можно утверждать, что тракторное уплотнение зяблевых фонов в чистом пару несущественно или оказывает положительное влияние на урожай, а на непаровом предшественнике приводит к отрицательному результату.

Мы считаем, что снижение урожайности связано не с переуплотнением

Крошение слоя 0–10 см после культивации уплотненной почвы.
Вспашка. Сухое просевание. 1975, 1976, 1978 гг.

Культура	Местоположение	Содержание фракций, %		
		> 10 мм	10–0,25 мм	< 0,25 мм
Первая пшеница по пару	Вне колеи	28,5	52,7	21,5
	Колея ДТ-75	28,4	49,7	10,9
	Колея К-700	42,0	47,4	10,5
Вторая пшеница	Вне колеи	13,7	60,0	26,3
	Колея ДТ-75	42,3	43,3	14,7
	Колея К-700*	37,8	48,8	13,4

* Среднее за 1976, 1978 гг.

Таблица 89

Влияние тракторного уплотнения почвы на ее физическое состояние
и урожайность яровой пшеницы. Среднее за 1976–1977 гг.

Показатель	Без уплотнения (контроль)	ДТ-75	МТЗ-50	К-700
Объемная масса слоя почвы 0–26 см, г/см ³	0,98	1,11	1,14	1,17
Глубина культивации, см	7,4	6,1	5,6	3,3
Содержание частиц > 10 мм, %	13,4	38,4	–	42,0
Глубина заделки семян, см	5,7	4,4	3,6	2,9
Густота всходов пшеницы, шт/м ²	327	282	251	203
Урожайность, ц/га (НСР _{0,5} = 1,1)	14,6	13,8	12,1	9,3

корнеобитаемого слоя. В опытах даже тяжелые тракторы обычно не переуплотняют почву. Самые высокие показатели плотности здесь составляли 1,15–1,16 г/см³. Главные причины, снижающие урожай: переуплотнение верхнего 8–10-сантиметрового слоя и недостаток воды в нем.

Существующие культиваторы для сплошной обработки не обеспечивают высококачественной предпосевной разделки уплотненного верхнего слоя почвы, соблюдения заданной глубины заделки семян, необходимого крошения и создают глыбистость, ухудшают контакт семян с почвой. В результате всходы получаются изреженными, особенно при недостатке влаги в почве в засушливые весны и по непаровым предшественникам. В.А. Гарбар (1971) указывает на плохие всходы и слабое развитие растений в зоне тракторной колеи. В его опытах это снижало урожай ржи на 0,5–8,0 ц/га.

Уплотнение почвы, в особенности колесными тракторами в момент бонования зяби, когда в верхних слоях еще высокая влажность, вызывает образование колеи. В опытах трактор ДТ-75 уплотняет отвально обработанную почву в слое 0–10 см от 0,91 до 1,0 г/см³; МТЗ-50 – до 1,02; Т-150К – до 1,01 и К-700 до 1,05 г/см³. На плоскорезном рыхлении эти цифры соответственно составляют 0,99; 1,0; 0,99; 1,0 и 1,09. По непаровому предшественику показатели плотности выше – 0,98–1,12 г/см³. При таком уплотнении отрегулированный культиватор КПН-4 с боронами "зиг-заг" не обеспечивает высокое качество разделки почвы (табл. 88). В слое 0–10 см остается много глыб более 10 мм и снижается количество агрономически ценных агрегатов размером 10–0,25 мм.

Проведен специальный опыт для уточнения характера влияния тракторного уплотнения и предпосевной культивации на качество крошения почвы, заделки семян, густоту всходов и урожай (табл. 89). Отвальная зябь в чистом пару весной уплотнялась тракторами, затем обрабатывалась культиватором КПН-4 на глубину 8 см и засеивалась пшеницей (сеялка СДН-2,4).

Результаты опыта показали, что объемная масса слоя 0–26 см на всех вариантах уплотнения находилась в пределах границ оптимальной плотности (1,11–1,17 г/см³). Повышение плотности снижало глубину культивации, заделки семян, увеличивало содержание глыб размером более 10 мм. Мелкая заделка, недостаточный контакт семян с почвой, более активное подсыхание верхних слоев приводили к изреженным всходам и в конечном счете к снижению урожайности пшеницы.

В основных опытах с машинным уплотнением при соблюдении всей технологической и методической дисциплины часто наблюдалось изреживание всходов, а местами и образование "плешин" на посевах пшеницы.

Многие авторы (Кононов, Гарбар, 1966; Королев, 1967; Гапоненко, Федотов, 1984; Рабочев и др., 1978), проводившие исследования в европейской части страны, отмечают отрицательное влияние машинного уплотнения на агрофизические свойства почвы и урожай. Однако сибирские черноземы, как показано выше, от одного-двукратного воздействия тракторов не переуплотняются в первые годы исследования и почвенные режимы существенно не изменяются.

В заключение следует подчеркнуть, что для устранения негативных последствий современных тяжелых колесных тракторов на черноземах Западной Сибири необходимо путем конструктивного совершенствования движителей существенно снизить удельное давление на почву и довести его до 0,8–1,0 кгс/см².

ОРОШАЕМЫЕ ПОЧВЫ

Орошение почв, особенно в первые годы, ведет к их осадке и уплотнению. Значительную роль в процессе уплотнения орошаемых почв играет деформирующее воздействие на них движителей сельскохозяйственной техники. Наибольшие изменения плотности почвы наблюдаются в рыхлых до начала орошения горизонтах. Процесс уплотнения почвенного профиля вглубь нарастает по мере увеличения длительности орошения.

Наши исследования в Нижнем Заволжье показали, что орошение затоплением по крупным чекам каштановой почвы привело к статистически зна-

Изменение плотности почв солонцового комплекса
Нижнего Заволжья, г/см³, при поливе затоплением по чекам*

Почва, № разре- за	Гори- зонг	Глуби- на, см	1963 г.		1976 г.		$M_2 - M_1$	НСР _{0,05}
			M_1	MM	M_2	MM		
Кашта- новая, 53	A _п	0-10	1,14	0,001	1,30	0,01	0,16	0,03
	B ₂	30-35	1,17	0,007	1,59	0,02	0,42	0,03
	C ₁	50-55	1,35	0,01	1,65	0,03	0,30	0,09
	C ₂	80-85	1,46	0,01	1,67	0,01	0,21	0,04
	C ₃	110-115	1,41	0,004	1,50	0,009	0,09	0,03
	C ₄	150-155	1,45	0,02	1,51	0,02	0,06	0,08
Солонец, 51	A _п	0-10	1,23	0,02	1,19	0,02	0,04	0,07
	B ₁	25-30	1,41	0,01	1,61	0,04	0,20	0,12
	B ₂	40-45	1,47	0,01	1,62	0,006	0,15	0,03
	C ₁	60-65	1,43	0,006	1,72	0,006	0,29	0,02
	C ₂	90-95	1,50	0,01	1,66	0,02	0,16	0,06
	C ₃	115-120	1,42	0,01	1,46	0,01	0,04	0,04
	C ₄	150-155	1,33	0,01	1,55	0,01	0,22	0,04
	C ₅	200-205	1,35	0,009	1,63	0,01	0,28	0,04
Лугово- кашта- новая, 52	A _п	0-10	1,16	0,02	1,16	0,01	0,0	0,06
	B ₁	30-35	1,32	0,006	1,39	0,01	0,07	0,03
	B ₂	50-55	1,45	0,02	1,54	0,07	0,09	0,20
	C ₁	100-105	1,56	0,02	1,66	0,01	0,10	0,06
	C ₂	150-155	1,33	0,01	1,55	0,01	0,22	0,04
	C ₃	200-205	1,35	0,009	1,63	0,01	0,28	0,04

* M_1 , M_2 — средние арифметические; MM — ошибка среднего арифметического; НСР — наименьшая существенная разница.

чимому изменению плотности практически по всему полутораметровому профилю (табл. 90). Наибольшие изменения получены в первые годы орошения в подпахотных горизонтах на глубину до 80-90 см. В солонце и лугово-каштановой почве при этом способе орошения также наблюдались значительные изменения плотности подпахотных горизонтов на глубину до 200 см.

При орошении напуском по широким длинным полосам в течение 8 лет статистически значимо повысилась плотность (на 0,10-0,12 г/см³) верхнего полуметрового слоя каштановой почвы (табл. 91). В солонце уплотнение отмечено в подпахотном слое на глубину до 55 см.

При орошении дождеванием в течение 9 лет наибольшее уплотнение отмечено в пахотном и верхней части подпахотного горизонта каштановой почвы на глубину 40-45 см (табл. 92). Значительное статистически значимое уплотнение почвы в этом случае мы связываем с воздействием на почву ходовых систем сельскохозяйственной техники, проявляющимся особенно интенсивно при высоких степенях увлажнения почвы. В солонце увеличение плотности отмечено только в пахотном слое. В лугово-каштановой почве изменения в плотности почвы статистически не значимы.

Вывод об уплотняющем воздействии ходовых систем сельскохозяйств-

Таблица 91

Изменение плотности почвы, г/см³, при поливе напуском по полосам.
Совхоз "Мелиоратор", полоса № 30

Почва, № раз- реза	Гори- зонт	Глуби- на, см	1971 г.		1978 г.		$M_2 - M_1$	НСР _{0,5}
			M_1	ММ	M_2	ММ		
Солонец глинис- тый, 1	A _п	0-10	1,18	0,03	1,19	0,01	0,01	0,06
	B ₁	27-32	1,33	0,02	1,44	0,02	0,11	0,06
	BC	50-55	1,53	0,01	1,58	0,01	0,05	0,03
	C ₁	85-90	1,54	0,04	1,61	0,01	0,07	0,11
	C ₂	110-115	1,54	0,02	1,57	0,02	0,03	0,07
	C ₃	135-140	1,47	0,03	1,52	0,01	0,05	0,08
	C ₄	185-190	1,50	0,04	1,51	0,01	0,01	0,12
Кашта- новая тя- желосуг- линистая, 2	A ₁	0-10	1,08	0,03	1,20	0,01	0,12	0,06
	B ₁	30-35	1,28	0,03	1,39	0,02	0,11	0,07
	B ₂	45-50	1,41	0,02	1,51	0,01	0,10	0,05
	C ₁	70-75	1,53	0,03	1,52	0,01	-0,01	0,07
	C ₂	115-120	1,52	0,03	1,54	0,01	0,02	0,08
	C ₃	140-145	1,51	0,02	1,57	0,02	0,06	0,07
	C ₄	190-195	1,52	0,02	1,49	0,01	-0,03	0,06

Таблица 92

Изменение плотности почв солонцового комплекса
Нижнего Заволжья, г/см³, при поливе дождеванием

Почва, № раз- реза	Гори- зонт	Глуби- на, см	1967 г.		1976 г.		$M_2 - M_1$	НСР _{0,5}
			M_1	ММ	M_2	ММ		
Кашта- новая, 4	A _п	0-10	1,19	0,01	1,51	0,01	0,32	0,04
	B ₁	30-35	1,39	0,007	1,58	0,01	0,19	0,03
	B ₂	45-50	1,52	0,02	1,52	0,01	0	0,06
	C ₁	60-65	1,53	0,02	1,50	0,02	0,03	0,08
	C ₂	100-105	1,53	0,02	1,60	0	0,07	0,06
	C ₃	130-135	1,51	0,02	1,59	0,01	0,08	0,06
	Солонец, 1	A _п	0-10	1,32	0,02	1,43	0,02	0,11
B ₁		20-25	1,51	0,02	1,51	0,007	0	0,07
B ₂		30-35	1,56	0,006	1,65	0,05	0,09	0,14
C ₁		50-55	1,55	0,03	1,51	0,01	-0,04	0,09
C ₂		80-85	1,61	0,03	1,57	0,006	-0,04	0,09
C ₃		110-115	1,68	0,007	1,67	0,006	-0,01	0,03
C ₄		160-165	1,64	0,01	1,61	0,02	-0,03	0,06
Лугово- каштано- вая, 3	A _п	0-10	1,29	0,03	1,25	0,05	0,04	0,14
	B ₁	30-35	1,43	0,02	1,50	0,05	0,07	0,15
	B ₂	50-55	1,52	0,02	1,65	0,07	0,13	0,20
	C ₁	70-75	1,60	0,01	1,56	0,03	0,04	0,09
	C ₁	110-115	1,59	0,02	1,56	0,04	0,03	0,13
	C ₁	140-145	1,66	0,01	1,69	0,03	0,03	0,09

Таблица 93

Изменение плотности лугово-каштановой тяжелосуглинистой почвы, г/см³,
под воздействием колес трактора К-700, 1981 г.

Горизонт	Глубина, см	Контроль		2 прохода		4 прохода	
		9.VI	19.VIII	9.VI	19.VIII	9.VI	19.VIII
A _П	0-10	1,14	1,21	1,42	1,31	1,41	1,31
A _П	10-15	1,35	1,37	1,45	1,45	1,47	1,50
B ₁	20-25	1,35	1,28	1,37	1,33	1,38	1,44
B ₂	30-35	1,35	1,32	1,36	1,31	1,33	1,35

Таблица 94

Влияние двигателя трактора ДТ-75
на плотность каштановой суглинистой почвы, г/см³.
Совхоз "Великий Октябрь", 1982 г.

Горизонт	Глубина, см	По следу трактора		Вне следа трактора	
		Траншея 1	Траншея 2	Траншея 1	Траншея 2
A _П	0-5	1,19	1,34	1,06	1,12
A _П	15-20	1,38	1,53	1,31	1,36
B ₁	30-35	1,29	1,36	1,26	1,35
B ₂	45-50	1,46	1,42	1,46	1,39
C ₁	60-65	1,54	1,43	1,57	1,48

венной техники на орошаемые почвы подтверждается экспериментальными данными. Изучение плотности лугово-каштановой орошаемой почвы при дву- и четырехкратном проходе по одному следу трактора К-700 при влажности почвы в пахотном горизонте, равной 22-24% от массы, показало, что значительная уплотняющая деформация при этом также распространялась на глубину до 20 см (табл. 93). Двукратный проход трактора К-700 по одному следу повысил плотность в слое 0-10 см на 0,28 г/см³ и в слое 10-20 см - на 0,10 г/см³. Четырехкратный проход трактора по одному и тому же следу не привел к дальнейшему повышению плотности. Повторное определение плотности через два месяца показало некоторое разуплотнение почвы только в слое 0-10 см за счет междурядной культивации. В необрабатываемой части пахотного слоя разуплотнения в течение вегетационного периода не наблюдалось.

В табл. 94 представлены данные по плотности каштановой почвы, полученные в 1982 г. на кукурузном поле по следу трактора ДТ-75. Уплотняющее воздействие двигателя трактора в данном случае распространилось на глубину 20 см, причем плотность почвы в траншее № 2 в пахотном слое была значительно выше оптимума.

Аналогичные исследования, проведенные в 1985 г. по следу и вне следа

Влияние двигателя трактора Т-150К
на плотность каштановой суглинистой почвы, г/см³.
Совхоз "Великий Октябрь", 1985 г.

Горизонт	Глубина, см	По следу трактора		Вне следа трактора	
		Траншея 1	Траншея 2	Траншея 1	Траншея 2
A _п	0-5	1,37	1,30	1,18	1,08
A _п	10-15	1,61	1,67	1,49	1,35
B ₁	20-25	1,50	1,49	1,44	1,34
B ₂	35-40	1,54	1,52	1,47	1,47
C ₁	50-55	1,63	1,48	1,59	1,48

Таблица 96

Изменение плотности горизонта A_п
каштановой суглинистой орошаемой почвы, г/см³,
при воздействии на нее двигателей тракторов

Глубина, см	Влажность почвы при проходе техники, %	Вариант опыта			
		Контроль	К-701		МТЗ-82, 4 прохода
			2 прохода	4 прохода	
2-7	7-11	1,13	1,30	1,34	1,29
10-15	10-14	1,41	1,42	1,50	1,44
20-25	10-14	1,40	1,40	1,45	1,46

трактора Т-150 К на каштановой почве, орошаемой дождеванием машиной ДДА-100 М, показало значительное уплотнение почвы при глубине следа 9-11 см (табл. 95).

Траншеи для исследования уплотнения были заложены через колею перпендикулярно проходу трактора. Значимое уплотнение прослежено в обеих траншеях на глубину до 40 см. Наибольшее повышение плотности (в среднем на 0,19-0,32 г/см³) по следам колес отмечено в слое 0-15 см, причем в центре следов в слое 10-15 см плотность почвы в двух случаях из шести достигала величины 1,72 г/см³.

Известно, что важнейшими факторами, влияющими на уплотнение почвы при воздействии на нее ходовых систем сельскохозяйственной техники, являются влажность и плотность почвы в момент прохода техники. При низкой влажности и высокой исходной плотности уплотняющее воздействие проявляется меньше (табл. 96). Из данных таблицы следует, что в наибольшей степени изменилась плотность верхнего рыхлого в исходном состоянии семисантиметрового слоя. Плотность более уплотненных до начала воздействия техники слоев (10-15 и 20-25 см) с относительно низкой влажностью значительно повысилась только при четырехкратном проходе трактора по одному следу.

Анализ материалов по уплотнению орошаемых почв при воздействии на них движителей сельскохозяйственной техники показывает, таким образом, что их изменение, так же как и в неорошаемых условиях, определяется свойствами самих почв, их влажностью и плотностью, характером движителей, массой воздействующей техники.

АГРОХИМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ РАЗУПЛОТНЕНИЯ ПОЧВ

РОЛЬ КОМБИНИРОВАННЫХ И ШИРОКОЗАХВАТНЫХ МАШИН И АГРЕГАТОВ В УМЕНЬШЕНИИ УПЛОТНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ

При многократных проходах по полю тяжелых энергетических и технологических машин наряду с уплотнением почвы и разрушением ее структуры отмечается снижение количества эрозионно устойчивых агрегатов. Поэтому сокращение проходов тракторов обеспечивает и сохранность эрозионной устойчивости.

Рассмотрим один из путей сокращения числа проходов тракторов по полю. Приведем баланс мощности трактора (%):

Индикаторная мощность двигателя трактора	100
Потери двигателя	10
Агрегаты трактора (гидронасос)	4,5
Потери в трансмиссии	11
Мощность на перекачивание трактора и буксование движителей	15-37
Мощность, предназначенная на выполнение технологических операций	37-59,5

Как видно, на деформацию почвы (мощности, затрачиваемые на перекачивание трактора N_f и буксование ведущих колес N_6) расходуется до 37% всей развиваемой двигателем трактора мощности. Это почти эквивалентно мощности, затрачиваемой на выполнение технологического процесса.

Введем отношение мощности, затрачиваемой на деформацию почвы ($N_f + N_6$), к мощности, используемой на агрегатирование сельскохозяйственной машины (N_{kp}), через коэффициент \tilde{k} . Пусть на выполнение всех i технологических операций, необходимых для возделывания сельскохозяйственной культуры, следует произвести суммарную работу $A = A_1 + A_2 + \dots + A_i + \dots + A_n$, где A_i — работа, выполненная сельскохозяйственной машиной на операции. Если каждая операция будет выполняться с коэффициентом использования тяговой мощности η_{kpi} , то суммарная работа на деформацию почвы за все время производства сельскохозяйственной культуры составит

$$A(f + \sigma) = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{\eta_{kpi}} \tilde{k}_i.$$

Следовательно, любая недогрузка двигателя трактора технологически операциями (т.е. неполное использование крутящей мощности трак-

тора) всегда будет вести к увеличению энергии, затрачиваемой на уплотнение почвы и разрушение ее структуры.

Поиск повышения коэффициента использования тяговой мощности может быть направлен по двум путям, ведущим к увеличению η_{kp} . Следует отметить, что увеличение скорости всегда ведет к увеличению мощности, затрачиваемой на передвижение агрегатов, т.е. ведет к увеличению N_f . Это — увеличение ширины захвата машинно-тракторного агрегата и совмещение операций, выполняемых агрегатом за один проход трактора по полю.

Одним из путей сокращения уплотнения ходовыми системами трактора является использование комбинированных машин и агрегатов для совмещения нескольких технологических операций.

Рассмотрим, как обеспечивают комбинированные агрегаты сокращение площади уплотнения поля. Пусть на i -й технологической операции по возделыванию сельскохозяйственной культуры площадь уплотнения S_i составляет на 1 га без учета поворотных полос, $S_i = 10\,000 \frac{bi}{Bi}$, где bi — ширина уплотненной колеи почвы, Bi — ширина захвата агрегата, выполнившего i -ю операцию. Тогда суммарная площадь уплотнения

$$S = 10\,000 \sum_1^n \frac{bi}{Bi}.$$

Применение комбинированного агрегата приводит к сокращению количества проходов тракторного агрегата путем совмещения нескольких операций, а площадь уплотнения на 1 га \tilde{S}_k составит

$$\tilde{S}_k = 10\,000 \frac{bk}{Bk}.$$

Тогда вместо n необходимых проходов тракторных агрегатов при выполнении технологических операций однооперационными машинами будет проводиться z операций, где $z < n$. Суммарная площадь уплотнения при применении комбинированных агрегатов будет равна

$$\tilde{S} = 10\,000 \sum_1^z \frac{bk}{Bk},$$

а степень снижения суммарной площади уплотнения вследствие применения комбинированных машин

$$k = \frac{S}{\tilde{S}} < 1.$$

Таким образом, чем больше число комбинаций технологических операций, выполняемых комбинированной машиной, и чем больше ширина захвата, тем выше эффективность снижения площади уплотнения поля ходовыми системами тракторов.

Комбинированные агрегаты позволяют не только сократить уплотняющее воздействие ходовых систем на почву, но и в 1,5–2 раза сократить сроки полевых работ, снизить на 20–25% эксплуатационные затраты.

По ориентировочным расчетам, исключение только одного прохода сельскохозяйственного агрегата по полю позволяет сэкономить в масштабах страны до 700 тыс. т топлива и до 450 тыс. человеко-дней трудозатрат. Сокращение промежутков времени между предпосевной обработкой почвы и посевом позволяет провести посев в сжатые агротехнические сроки и обеспечивает повышение урожая сельскохозяйственных культур.

В Краснодарском крае совмещение операций при возделывании озимой пшеницы позволило получить прибавку урожая до 4—17%. В условиях Северо-Западной части РСФСР совмещение операций обеспечило повышение урожая ячменя на 20—25%.

Опыт показал, что целесообразно совмещение следующих операций:

1. Основная обработка почвы с оборотом пласта + крошение комьев и глыб + уплотнение и выравнивание поверхности + внесение удобрений.

2. Безотвальное рыхление почвы + внесение минеральных удобрений + выравнивание.

3. Рыхление почвы + выравнивание почвы + измельчение растительных остатков + мульчирование растительными остатками поверхности поля + прикатывание.

4. Предпосевное рыхление почвы + выравнивание почвы + внесение удобрений + внесение гербицидов.

5. Предпосевная подготовка почвы + внесение минеральных удобрений + внесение гербицидов + посев + прикатывание.

6. Профилирование поверхности (нарезка гряд или гребней) + предпосевная обработка (гряд, гребней) + внесение минеральных удобрений + внесение гербицидов + посев (посадка) + прикатывание посевов.

7. Рыхление почвы в междурядьях + прореживание + подкормка + внесение гербицидов и других ядохимикатов.

Современная тракторная энергетика позволяет применять любые из перечисленных выше совмещений технологических операций, обеспечивая при этом следующие выгоды: 1) сокращение количества обработок почвы; 2) уменьшение числа проходов тракторов и агрегатов по полю, а следовательно, снижение уплотняющего воздействия ходовых систем на почву; 3) снижение трудоемкости производства продуктов растениеводства.

В мировой практике наметились тенденции создания следующих типов комбинированных агрегатов и машин:

1. Создание специализированных комбинированных машин. В конструкциях таких машин не предусмотрено раздельное использование входящих в них орудий или рабочих органов.

2. Создание универсальных комбинированных машин (агрегатов). Такие машины предусматривают смену типов рабочих органов, обеспечивая несколько комбинаций технологических операций.

3. Создание комбинированных составных агрегатов. Составление комбинированных агрегатов обеспечивается стыковкой нескольких однооперационных машин и орудий, используемых на однооперационных работах, при помощи сцепок и других устройств.

К комбинированным почвообрабатывающим и посевным агрегатам предъявляются повышенные требования, так как они выполняют за один проход несколько технологических операций и должны обеспечивать необходимые условия для развития сельскохозяйственных растений.

Создание комбинированных агрегатов требует тщательного обоснования новой комбинации технологических операций с учетом природно-экономических условий зоны, биологии почвы, физиологии растений и агротехники возделывания. Новый технологический процесс, закладываемый в создаваемый комбинированный агрегат, не должен составлять простую сумму элементарных технологических операций, применяемых в традиционных технологиях. Это должен быть качественно новый, совмещенный процесс, задачей которого является более высокое качество выполнения всего комплекса агроприемов с высокими технико-экономическими показателями.

Комбинированные агрегаты из фрезы и сеялки находят применение при ленточном и разбросном посеве зерновых.

Для предпосевной обработки почвы под сахарную свеклу чаще всего используют комбинированные агрегаты, в первом ряду которых располагают рабочие органы культиваторов-лушильников, во втором ряду располагают волокуши, комкодробители, кольчатые катки, разнообразные бороны или почвенные фрезы.

Индустриальные технологии возделывания зерновых колосовых и кукурузы зачастую предусматривают минимальную обработку почвы, которая заключается в широком использовании комбинированных машин и агрегатов, совмещающих основную и предпосевную обработку почвы, а также посев. При такой технологии достигается максимальное сокращение уплотняющего воздействия ходовых систем на почву, сокращение сроков проведения работ и затрат труда за счет минимального числа технологических операций.

Повысить производительность труда МТА и снизить уплотняющее воздействие на почву возможно за счет увеличения ширины захвата. Установлено, что комбинированные машины не всегда имеют преимущества перед однооперационными. Поэтому использование широкозахватных машин и агрегатов является также перспективным направлением снижения уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники на почву. Увеличение ширины захвата сельскохозяйственных машин наблюдается для всех полевых технологических операций.

Так, для традиционной отвальной обработки почвы во многих странах мира выпускают отвальные плуги с числом корпусов до 16 (отдельные модели до 21 корпуса). Для агрегатирования двух 6–8-корпусных плугов выпускают плужные сцепки.

Основной тенденцией в разработке орудий для предпосевной обработки почвы является создание скоростных (с рабочей скоростью до 16 км/ч) и широкозахватных культиваторов (с шириной захвата 10–16 м).

Тенденция увеличения ширины захвата пропашных сеялок отчетливо прослеживается в том, что ряд фирм США, Канады, Австралии за последние пять лет начал выпуск 16-, 18- и 24-рядных сеялок.

В настоящее время во многих странах уже создана и производится большая номенклатура широкозахватных сеялок с шириной захвата 7–27,4 м. Наиболее важными особенностями, определяющими конструкции широкозахватных сеялок, является агрегатирование и перевод их в транспортное положение. При этом наряду с приспособлениями к шеренговому агрегатированию традиционных сеялок создаются встроенные к конструкции сеялок транспортные элементы.

Конструктивно широкозахватные агрегаты выполняются: 1) в виде отдельной широкозахватной машины; 2) в виде отдельных модулей, стыкующихся при помощи специальных устройств (бессцепочные агрегаты); 3) в виде отдельных машин, присоединяемых к сцепкам; для этих целей разрабатываются прицепные, полунавесные и навесные сцепки.

Создание отдельных широкозахватных машин требует конструктивного решения способа перевода их в транспортное положение, при котором необходимо соблюдать ограничения по ширине машины в транспортном положении. Для этих целей используются приемы складывания сельскохозяйственной машины или в горизонтальной, или вертикальной, или в той и другой (комбинированный метод) плоскости, создание широкозахватных машин на базе встроенных в отдельные машины сцепных устройств. Этот способ перевода агрегата из рабочего положения в транспортное нашел широкое распространение в отечественном сельхозмашиностроении и за рубежом. Применяется несколько конструктивных схем таких машин. Наиболее распространенные схемы — это комплектование агрегата модульных машин, соединенных между собой специальной сцепкой или другим конструктивным элементом, и разработка шарнирно-сочлененных секций сельскохозяйственных машин.

Широкое распространение в США нашел способ агрегатирования под названием "составное сцепное устройство" (ССУ). Ряд специалистов считают, что применение ССУ более выгодно экономически, чем ориентирование на специализированные широкозахватные машины.

Другим направлением создания широкозахватных агрегатов является использование специальных сцепок-рам, соединенных с энергетическим средством. К сцепкам относятся навесные сельскохозяйственные машины. К недостаткам таких конструкций следует отнести отсутствие универсальности, т.е. такие сцепные устройства работают только с одним типом модульных сельскохозяйственных машин.

Все большее применение как у нас в стране, так и за рубежом находят бессцепочные способы агрегатирования. Отличительная особенность таких конструкций заключается в шарнирно-секционном исполнении сельскохозяйственной машины. Осуществление перевода машины в транспортное положение заключается в складывании секций машины в горизонтальной или в вертикальной плоскости. Иногда применяются комбинированное складывание секций — в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Отрабатываются варианты изменения геометрии тягового звена, приводящие к изменению ширины машины за счет поворота секций относительно шарнирных сочленений.

Наиболее простые и универсальные широкозахватные агрегаты монтируются на универсальных прицепных, навесных и полунавесных универсальных сцепках. Достоинство такого способа агрегатирования заключается в возможности агрегатировать различные машины (для предпосевной обработки, посева, междурядной обработки и т.д.) с тракторами различных тяговых классов. Однако они обладают и существенными недостатками: высокой трудоемкостью составления агрегата и его перевода в транспортное положение, увеличенным продольным транспортным габаритом.

Весовые параметры агрегатов для посева пропашных культур

Показатель	Одномашинные агрегаты		Широкозахватные агрегаты		
	ЮМЗ-6	МТЗ-80	СН-2	Т-74	РС-18
Ширина захвата, м	4,2	5,6	8,4	12,6	12,6
Масса, кг	3910	4110	6880	7930	7600
Производительность, га/ч	2,43	3,24	4,50	6,30	6,45
Удельная масса по производительности, т · ч/га	1,609	1,268	1,528	1,220	1,197
Удельная масса по ширине захвата, т/м	0,903	0,734	0,819	0,629	0,603
Металлоемкость, кг/га	2,213	1,473	2,066	3,190	1,422

Опыт использования широкозахватных агрегатов в стране указывает на их большую перспективность. Так, использование широкозахватного секционного культиватора к тракторам К-701 и К-700 на базе сцепки СОНГ-18/12 (ширина захвата 10 и 12 м) в колхозе "Накотне" Тукумского района обеспечило дневную выработку 35,7 га, что в 2,16 раза выше производительности одномашинных агрегатов.

Разработанный Мелитопольским институтом механизации сельского хозяйства широкозахватный 18-рядный агрегат для посева и возделывания обеспечил повышение производительности труда в 2,5—3 раза.

Коэффициент уплотнения, представляющий собой отношение абсолютной площади уплотнения к площади, обрабатываемой агрегатом за 1 м пути, для широкозахватных 18-рядных агрегатов составляет 3,7—3,8, а для обычных он равен 5,0. Таким образом, этот показатель выше, чем у широкозахватных агрегатов, на 37—38%.

Анализ весовых параметров различных вариантов агрегатов показывает, что по мере увеличения ширины захвата и увеличения мощности тракторов общая масса их возрастает. Однако масса, отнесенная к ширине захвата или к единице производительности у агрегатов с большей шириной захвата, несколько меньше, чем у неширокозахватных агрегатов (табл. 97).

Таким образом, для существующих агрегатов удельные весовые показатели изменяются в зависимости от ширины захвата, что приводит к разному воздействию и уплотнению почвы и не может проходить бесследно. С этой точки зрения преимущество остается за широкозахватными агрегатами рассматриваемых типов.

Более высокий уровень снижения уплотняющего воздействия достигается при сочетании широкозахватных и комбинированных агрегатов, которые обеспечивают как уменьшение площади покрытия ходовыми системами трактора поверхности поля, так и уменьшение числа проходов за время производства сельскохозяйственной культуры.

**ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ
ВЫПОЛНЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ПОЛЕВЫХ РАБОТ
И МАРШРУТИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ МТА**

Анализ существующей технологии возделывания различных сельскохозяйственных культур показывает, что число выполняемых операций колеблется от 10–15 до 20–25. Такие операции, как лущение стерни, внесение органических и минеральных удобрений, вспашка почвы, ее выравнивание, культивация, боронование, посев, уход за посевами и уборка урожая осуществляются раздельно и к тому же некоторые из них многократно. Машинно-тракторные агрегаты, выполняющие эти операции, отличаются количественным составом, типами сельскохозяйственных машин, способами агрегатирования, что и определяет разницу в ширине их захвата. Все это приводит к тому, что при многократных циклических движениях агрегатов по полю после каждого прохода оно покрывается уплотненными полосами, суммарная площадь которых превышает саму площадь поля. Например, при возделывании озимой пшеницы суммарная площадь уплотнения 1 га достигает в среднем 22–26 тыс.м², кукурузы – 18–30 тыс.м², сахарной свеклы – 30–32 тыс.м² (без учета уборочно-транспортных операций).

Степень воздействия сельскохозяйственной техники на почву определяется полевой культурой, физико-химическими свойствами, количеством выполняемых операций, их повторностью и типом трактора. Выбор последнего зависит от вида работы, размера поля, удельного сопротивления почвы и других факторов. В свою очередь, тип трактора предопределяет ширину захвата агрегатов, а следовательно, и число его проходов в расчете на единицу площади поля.

Снижение отрицательного воздействия ходовых систем мобильных агрегатов на почву может быть получено путем внедрения в практику комплекса организационных мероприятий, обеспечивающих их движение по заранее намеченным маршрутам. При этом большинство технологических операций выполняется при движении тракторов по одним и тем же колеям – заранее определенным и фиксированным на все время возделывания сельскохозяйственной культуры маршрутам (Методические рекомендации..., 1984).

Для определения площади уплотнения мобильными агрегатами были проведены соответствующие аналитические исследования. Площадь уплотнения поля зависит от ширины колеи, образованной ходовой частью трактора, ширины захвата агрегата и числа его проходов по полю, которое определяется как $n = A \cdot K / P_{кр}$, где n – число проходов агрегата; A – ширина поля, м; K – удельное сопротивление сельскохозяйственных машин, кН/м; $P_{кр}$ – тяговое усилие трактора на крюке, кН.

Площадь уплотнения поверхности за один проход агрегата без учета уплотнения почвы ходовыми системами сельскохозяйственных машин и при холостом ходе на поворотных полосах вычисляется по формуле $S_0 = 2b(L_0 - 2E)$, а на всей площади поля

$$S = S_0 n = \frac{2bAK(L_0 - 2E)}{P_{кр}},$$

где S_0 – площадь уплотнения поля за один проход агрегата, м^2 ; S – площадь уплотнения всего поля, м^2 ; L_0 – длина поля, м ; b – ширина движителя трактора, м ; E – ширина поворотной полосы, м .

Площадь уплотнения поля ходовой частью трактора при выполнении одной операции определяется как

$$S = \frac{2bL_0A^2K(L_0 - 2E)}{[(L_0 - 2E)A + (A + B)l]P_{\text{кр}}},$$

где l – длина одного поворота, м ; B – ширина захвата агрегата, м .

На поворотных полосах (п.п.) почва уплотняется при поворотах агрегата на холостом (х.х.) и рабочих (р.х.) ходах. Площадь уплотнения поворотной полосы составляет

$$S_{\text{п.п.}} = S_{\text{х.х.}} + S_{\text{р.х.}} = \left(\frac{A}{B} - 1\right)2bl + \frac{2bEA}{B}.$$

Тогда общую площадь уплотнения поля при выполнении одной операции можно вычислить по формуле

$$S_{\text{общ}} = \frac{2bL_0A^2K(L_0 + 2E)}{[(L_0 - 2E)A + (A + B)l]P_{\text{кр}}} + \left(\frac{A}{B} - 1\right)2bl + \frac{2bEA}{B}.$$

Таким образом, зная размеры поля и поворотной полосы, параметры ходовой части трактора, тяговое усилие и удельное сопротивление сельскохозяйственных машин, зависящее от физико-механических свойств почвы, можно определить площадь уплотнения поля при выполнении одной или нескольких технологических операций.

Для ускорения вычислений построена логарифмическая номограмма с 45-градусным ходом луча решения. Пределы значений всех шкал позволяют найти искомую величину для любых встречающихся на практике значений указанных выше переменных (рис. 23). Исходными данными для определения площади уплотнения поля являются его длина L_0 и ширина A , тяговое усилие трактора $P_{\text{кр}}$, ширина ходовой части движителя b и удельное сопротивление сельскохозяйственных машин K . На практике определение величины тягового усилия трактора связано с большими трудностями, и поэтому для расчета площади уплотнения его удобно выразить через ширину захвата агрегата: $P_{\text{кр}} = BK$, где B – ширина захвата агрегата, м .

Для нахождения величины удельного сопротивления сельскохозяйственных машин можно воспользоваться соответствующей справочной литературой. Отклонение последнего от реальных условий будет компенсироваться значением тягового усилия трактора, что и дает возможность получения объективных данных площади уплотнения поля его движителями. На рис. 24 показан пример нахождения искомой величины при известных параметрах L_0 , A , $P_{\text{кр}}$, b и K .

Пользуясь номограммой, мы рассчитали общую площадь уплотнения поля при возделывании сахарной свеклы, кукурузы и озимой пшеницы. Как и следовало ожидать, у пропашных культур она оказалась существенно выше, чем у культур сплошного сева, – соответственно почти трех- и двукратное уплотнение 1 га поля в каждой точке.

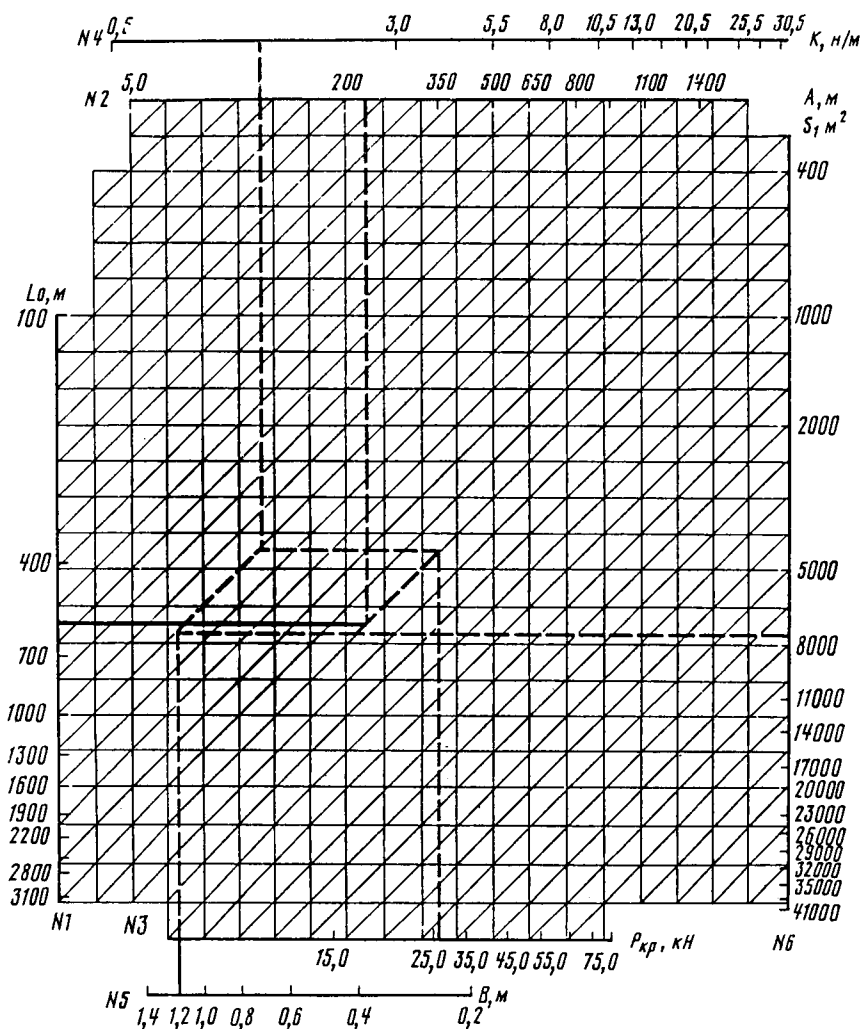


Рис. 23. Номограмма для расчета площади уплотнения поля

Для уменьшения площади уплотнения поля следует по возможности отдавать предпочтение тракторам большего тягового класса, которые при агрегатировании с широкозахватными орудиями намного уменьшают количество проходов их по полю. Так, при культивации почвы МТЗ-82 уплотняет на одном гектаре 1650 м², а Т-150 К – вдвое меньше. Такого же результата можно добиться и при выполнении других операций. При этом не следует допускать проходов энергонасыщенных тракторов по переувлажненной почве.

Применение маршрутизации движения МТА позволяет уменьшить площадь уплотнения поля при возделывании ведущих сельскохозяйственных культур в 1,7–2,7 раза (табл. 98).

Общая площадь уплотнения поля при возделывании
сельскохозяйственных культур, тыс.м²
(без учета уборочно-транспортных операций)

Культура	Рекомендуемая техноло- гия	Технология с использовани- ем маршрутизации движе- ния агрегатов
Сахарная свекла	29,2	17,5
Кукуруза	29,0	15,2
Озимая пшеница	22,5	8,3

Таблица 99

Влияние маршрутизации движения сельскохозяйственных машин и орудий
на урожай ячменя на черноземе типичном 1980 г.,
Харьковская обл., учебное хозяйство Харьковского СХИ "Коммунист".
Учетная площадь 12 га

Технология возделывания	Урожай, ц/га	
	надземной массы	зерна
Без маршрутизации движения	136	38,5
С маршрутизацией движения	172	42,1
НСР ₀₅	26	2,6

Маршрутизация движения тракторов обеспечивает устранение лишних проходов по полю, улучшает организацию ведения полевых работ, снижает затраты топлива и повышает урожайность сельскохозяйственных культур (табл. 99).

Несмотря на то что маршрутизация — достаточно простой и эффективный способ снижения отрицательного воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву, ее внедрение сопряжено с рядом трудностей, объясняющихся различной шириной захвата у существующих орудий для предпосевной обработки и посева сельскохозяйственных культур. Так, паровой культиватор КПС-4 имеет ширину захвата 4,0 м, зерновая сеялка СЗ-3,6 — 3,6 м. При осуществлении маршрутизации указанный культиватор не будет использоваться на ширину захвата, равную 0,4 м. Поэтому для широкого внедрения маршрутизации необходимо либо предусмотреть такой комплекс машин, который имел бы одинаковую ширину захвата, либо сделать захват некоторых орудий (борон, катков и др.) кратным ширине захвата базовых машин (например, сеялок). То и другое не требует значительных затрат, так как конструкции машин при этом не изменяются, изменится только ширина их захвата. При выполнении этих условий маршрутизация МТА будет осуществляться при возделывании любой культуры автоматически, т.е. МТА будут передвигаться в поле только по постоянным колеям. Тогда площадь уплотнения поля уменьшится,

локализуется в объеме поля в постоянных колеях и проще устранится при периодическом их глубоком рыхлении.

В США и Западной Европе при маршрутизации движения МТА получены положительные результаты без существенных отрицательных последствий для свойств и режимов почв в уплотненных колеях при условии их глубокой периодической обработки (Dumas a.oi., 1972; Soil Studies..., 1976).

Вопрос о внедрении в производство сельскохозяйственной техники с согласованной шириной захвата может быть решен только в перспективе. В то же время в условиях применения интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур возрастает количество проводимых механизированных операций, что уже сегодня требует мероприятий, направленных на снижение отрицательного воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву.

Рассмотрим возможность маршрутизации движения агрегатов по полю с использованием существующей системы машин и технологий возделывания сельскохозяйственных культур. В табл. 100 приведен перечень механизированных операций, выполняемых при возделывании сахарной свеклы, рекомендуемое направление движения агрегатов, их состав и ширина захвата (Варшавский и др., 1983). Маршрутизацию движения машинно-тракторных агрегатов целесообразно внедрить в первую очередь при проведении весенне-летних работ, так как на это время приходится 76% проходов тракторов по полю. Кроме того, в весенний период влажность почвы, как правило, больше и соответственно увеличивается ее уплотнение.

При выполнении различных работ движение агрегатов по полю выполняется вдоль поля, поперек его и по диагонали. Удельный вес таких движений составляет 68, 24 и 8%. Всесоюзный научно-исследовательский институт сахарной свеклы рекомендует для улучшения выровненности поверхности поля все последующие операции после вспашки проводить под углом 20–25° к направлению предыдущей обработки (Варшавский и др., 1983). Однако такая рекомендация исключает возможность маршрутизации движения агрегатов по одним и тем же колеям. Поэтому при внедрении маршрутизации в производство все работы необходимо выполнять в одном направлении, а для улучшения выровненности поля продольные и поперечные проходы проводятся под углом 65–70° друг к другу.

Движение тракторов по одним и тем же следам можно осуществить только в случае равенства или кратности рабочей ширины захвата применяемых агрегатов. При возделывании сахарной свеклы больше всего (36%) применяются агрегаты с рабочей шириной захвата 5,4 м (см. табл. 100). Эта ширина захвата и может быть принята в качестве базовой. Бороновальные агрегаты в составе тракторов Т-150 и Т-70С со сцепками СГ-21 и СП-11 необходимо укомплектовывать дополнительными звеньями борон, и тогда рабочая ширина захвата будет 21,6 и 10,8 м. Рабочая ширина захвата агрегата для выравнивания почвы может быть уменьшена за счет увеличения перекрытия при смежных проходах до 10,8 м. Сплошное опрыскивание осуществляется трактором МТЗ-80 с машиной ПОУ, рабочая ширина захвата которой уменьшается до 10,8 м отключе-

Перечень механизированных операций, выполняемых при возделывании сахарной свеклы по индустриальной технологии в условиях естественного увлажнения

Операции	Направление движения агрегата	Состав агрегата	Конструктивная ширина захвата, м	Рабочая ширина захвата, м	Ширина захвата при маршрутизации, м
Лущение (дважды)	По диагонали	T-150K + ЛДГ-15	15	14,5	14,5
Внесение удобрений	Поперек	T-150K + РУМ-8			
Вспашка	Вдоль	T-150K + ПЛН-4-40	1,6	1,7	1,7
Культивация	Поперек	T-70C + УСМК-5,4Б	5,4	5,4	5,4
Культивация с внесением удобрений	Вдоль	T-70C + УСМК-5,4Б + ПОУ	5,4	5,4	5,4
Боронование	Поперек	T-150 + СГ-21 + ЗБЗТС-1	21,0	19,0	21,6
	Вдоль	То же	21,0	19,0	21,6
Выравнивание	Поперек	T-150 + СП-11 + ШБ-2,5 + 3ОР-07	12,5	12,0	10,8
	Вдоль	T-150 + СГ-21 + ЗККШ-6	24,0	20,0	21,6
Культивация с внесением гербицидов	"	МТЗ-80 + УСМК-5,4Б + ПОУ	5,4	5,4	5,4
Посев	Вдоль	T-70C + ССТ-12Б	5,4	5,4	5,4
Довсходовое боронование	Поперек	T-70C + СП-11 + 3 ОР-0,7	10,5	10,0	10,8
Сплошное опрыскивание инсектицидами	Вдоль	МТЗ-80 + ПОУ	15,0	14,5	10,8
Рыхление междурядий	"	T-70C + УСМК-5,4Б	5,4	5,4	5,4
Рыхление почвы	Поперек	T-70C + СП-11 + ЗБП-0,6	10,8	10,2	10,8
Внесение гербицидов	Вдоль	МТЗ-80 + ПОУ	15,0	14,5	10,8
Прореживание всходов	"	T-70C + УСМП-5,4	5,4	5,4	5,4
Междурядная обработка (пятикратная)	"	T-70C + УСМК-5,4Б	5,4	5,4	5,4
Опрыскивание фунгицидами	"	МТЗ-80 + ПОУ	15,0	14,5	10,8
Междурядная обработка	"	T-70C + УСМК – 5,4Б	5,4	5,4	5,4

нием крайних распылителей штанги. После такой корректировки рабочей ширины агрегатов все проходы тракторов в весенне-летний период при возделывании сахарной свеклы будут проводиться по одним и тем же колеям.

Первой технологической операцией по подготовке почвы к посеву в весенний период является боронование, проводимое в поперечном направлении. При подготовке агрегата к работе его необходимо оборудовать маркерами и следоуказателями, которые предназначены для того, чтобы обеспечить движение последующего шлейфовального агрегата с шириной захвата 10,8 м по тем же следам. За величину вылета маркера бороновального агрегата удобно принять расстояние от правого движителя трактора до диска маркера. Последнее связано с тем, что водить трактор по следу маркера наиболее удобно правым движителем. Тогда правый и левый вылеты маркера определяются по формулам

$$M_{\text{пр}} = B_p - B_t = 21,6 - 1,4 = 20,2 \text{ м};$$

$$M_{\text{лев}} = B_p + B_t = 21,6 + 1,4 = 23,0 \text{ м},$$

где B_t — ширина захвата трактора; B_p — рабочая ширина захвата.

Маркеры будут выступать за пределы агрегата примерно на 11 м, что затрудняет использование общепринятой их конструкции. Для устранения этого недостатка в бороновальном агрегате целесообразно использовать пенные маркеры.

Схема расстановки следоуказателей на бороновальном агрегате показана на рисунке 24. Конструкция следоуказателя должна обеспечивать образование в почве такой глубины бороздки, чтобы после проведения продольного боронования она оставалась ориентиром механизатору при проведении последующей технологической операции, выполняемой в поперечном направлении. При повторном бороновании поля в продольном направлении боковые следоуказатели с агрегата снимаются. На агрегатах с шириной захвата 10,8 м устанавливаются три следоуказателя на расстоянии 5,4 м один от другого. Остальные агрегаты с шириной захвата 5,4 м оборудуются одним следоуказателем, установленным за правым движителем трактора.

Организация маршрутов движения машинно-тракторных агрегатов по полю следующая. Движение тракторов по одним и тем же колеям возможно только при строгом соблюдении основного требования — все проходы агрегата по одному и тому же следу необходимо выполнять в одном направлении. Это условие при несовпадении ширины захвата различных агрегатов затрудняет организацию работ. В таком случае применяется специальный способ движения агрегата. На рис. 25 показана траектория движения агрегата по полю с шириной захвата 21,6 и 10,8 м. Бороновальный агрегат перемещается по полю челночным способом, а шлейфовальный — перекрытием.

При возделывании озимых зерновых культур по интенсивной технологии в системе обработки почвы в чистом пару осенью последовательно выполняются: обработка почвы в двух взаимно перпендикулярных направлениях дисковыми луцильниками ЛДГ-10, ЛДГ-15 или дисковыми боронами БДТ-7, внесение удобрений и вспашка. В весенне-летний

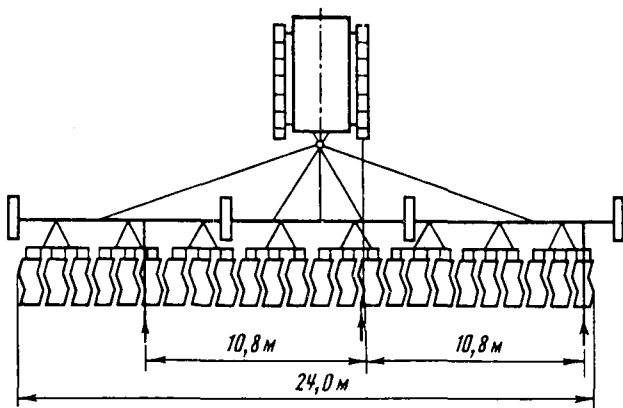


Рис. 24. Схема бороновального агрегата со следоуказателями

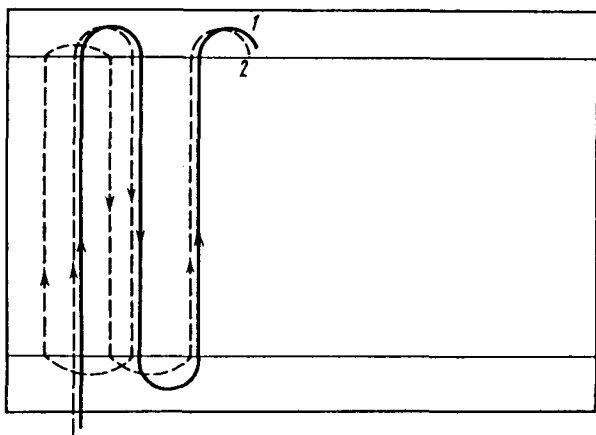


Рис. 25. Траектория движения агрегата
1 – бороновального; 2 – шлейфовального

период проводится боронование, четырех-пятикратная культивация, посев, трехкратная подкормка с целью борьбы с вредителями и болезнями, четырех-пятикратное опрыскивание (Методические рекомендации..., 1985).

Интенсивная технология возделывания зерновых культур предусматривает движение по одним и тем же колеям посевного и всех последующих агрегатов. Эффективность применения ее можно существенно повысить при снижении уплотняющего воздействия ходовых систем мобильных агрегатов на почву путем распространения маршрутизации движения их на все технологические операции обработки почвы в весенне-летний период. Для этого ширину захвата всех агрегатов нужно согласовывать с шириной захвата посевного агрегата, которая составляет 10,8 м. Бороновальный агрегат можно комплектовать на базе трактора Т-150 со сцепкой СГ-21 и рабочей шириной захвата 21,6 м, агрегат для культи-

вазии — трактора Т-150 со сцепкой СП-16 и трех культиваторов КПС-14. С учетом увеличения перекрытия при смежных проходах культиваторного агрегата рабочая ширина его захвата должна быть 10,8 м. Аналогичным способом подбираются агрегаты при использовании других тракторов а также для возделывания других сельскохозяйственных культур.

Опыт показал, что внедрение маршрутизации облегчается, когда вначале составляются специальные маршрутные карты движения МТА для каждого поля. В дальнейшем по мере освоения механизаторами технологии маршрутизации надобность в них отпадает.

Локализация уплотнения за счет маршрутизации движения сельскохозяйственных машин — эффективный способ снижения отрицательного воздействия их ходовых систем на почву. Правильное составление агрегатов и уменьшение числа проходов по полю обеспечивают минимальное уплотнение почвы.

Технология возделывания сельскохозяйственных культур должна составляться с учетом имеющихся в хозяйстве тракторов, возможностей их применения на различных операциях, а также числа проходов агрегатов по полю, особенно по взрыхленной влажной почве. Технологические карты на обработку почв, внесение удобрений и уборку урожая должны также предусматривать минимализацию движения по полям нагруженных самоходных шасси, автомобилей, удельное давление которых на почву, как известно, превышает соответствующие показатели даже у энергонасыщенных тракторов.

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ РАЗУПЛОТНЕНИЯ ПОЧВ

Переуплотнение подпахотных горизонтов почвы ходовыми системами тракторов и образование плужной подошвы ведет за собой снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Особенно неблагоприятные условия развития сельскохозяйственных растений создаются в результате длительной обработки на одну и ту же глубину плоскими лемехами плугов и плоскорезов плужной подошвы. При длительном использовании отвального плуга и плоскореза на глубине вспашки образуется подошва с высокой объемной массой и малым числом макропор. Она резко ограничивает глубину проникновения корней, общий размер корневой системы и миграцию влаги. При сравнительно непродолжительной засухе на таких участках растения сильно страдают от недостатка влаги, поскольку влага глубже плужной подошвы не может использоваться растениями из-за отсутствия там корней. Влага, содержащаяся в почве выше плужной подошвы, при повышенной температуре воздуха быстро испаряется, что не позволяет эффективно использовать питательные вещества почвы и удобрений.

Целесообразность разуплотнения плужной подошвы совершенно очевидна. Во многих странах мира происходит расширение площадей, предназначенных для глубокого рыхления. Работы ведутся не только на тяжелых глинистых почвах, но и на всех других обрабатываемых площадях. В настоящее время имеется значительное количество видов машин и оборудования для глубокого (до 80 см и более) рыхления почв. Увеличение глубины рыхления стало возможным благодаря созданию мощных трак-

торов и повышению эффективности сельскохозяйственных машин и оборудования. За рубежом ряд фирм выпускает глубоких рыхлители, обеспечивающие рыхление на 60–80 см (фирма "Huard" во Франции; "Taylor Implement Mnf. Co" в США; В-371 в ГДР; "Бренинг" в ФРГ).

Особое значение глубокое рыхление приобретает на почвах тяжелого механического состава с глубоким залеганием грунтовых вод. Подпочва на таких площадях обладает высокой плотностью и прочностью, корневая система может здесь лишь частично использовать запасы воды и питательных веществ. Кроме того, использование тяжелой сельскохозяйственной техники на влажной почве, в частности в период уборки, влечет за собой накопление вредного уплотнения почвы в подпахотном горизонте.

Посредством глубокого рыхления повышается влагопроницаемость подпочвы, увеличивается общий объем пор, занятых воздухом, а также воздухо- и водопроницаемость. Избыточная вода при этом быстрее просачивается в почву, вследствие чего возможна ее более ранняя весенняя обработка.

Многочисленные опыты в различных почвенно-климатических условиях доказывают высокую эффективность глубокого рыхления, обеспечивающего повышение урожайности сельскохозяйственных культур. В засушливые годы рыхление на глубину до 45 см по сравнению со вспашкой на 20 см обеспечивает прибавку урожая на 4,4%, а на суглинистых почвах — на 2,3%.

По данным Института почвоведения в Эберсвальде (ГДР), рыхление на глубину 70–80 см позволяет повысить урожай кукурузы на силос на 15% (Маслов, 1981). Этот институт рекомендует проводить глубокое рыхление под кукурузу, сахарную свеклу, картофель, овес и ячмень. В США (штат Техас) опыты по чизелеванию глинистых почв на глубину 60 см показали, что мощность корнеобитаемого слоя возросла с 30 см до 1 м 20 см (Сальников, 1978).

В Западном районе СССР установлена эффективность глубокого мелиоративного рыхления на тяжелых осушенных почвах, так как их уплотнение в процессе сельскохозяйственного использования приводит к резкому ухудшению водного и теплового режимов.

Опыты, проведенные в Белоруссии, показали (Маслов, 1981), что уменьшение глубины рыхления значительно снижает эффективность этого мероприятия. Так, в первый год исследований при рыхлении на глубину 60 см прибавка урожая многолетних трав в первом укосе составила 26 ц/га (контроль — 130 ц/га), на глубину 40 см — 13 ц/га. На второй год опыта прирост урожая составил соответственно 44 и 20 ц/га (контроль — 176 ц/га): на третий год — 21 и 5 ц/га (контроль — 127 ц/га).

Последствие глубокого рыхления прослеживается в течение нескольких лет. Срок его действия составляет на тяжелых почвах 3–4 года, на вновь осваиваемых землях с низкой степенью окультуренности — 2–3 года, на хорошо окультуренных почвах — 5–7 лет (Маслов, 1981). Мелиоративное глубокое разуплотнение тяжелых минеральных почв обеспечивает увеличение активного слоя, лучше распределяются запасы влаги по профилю почвы, улучшаются условия развития корневой системы растений и как следствие повышается отдача от применения удобрений.

Все это обуславливает повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 20–30% (Маслов, 1981).

Эффективность глубокого рыхления особенно возрастает на фоне известкования и внесения удобрений. Так, прибавка урожая зерна ячменя от воздействия глубокого рыхления составила 5 ц/га, а от совместного действия рыхления и извести – 9 ц/га, при урожае на контроле 20,9 ц/га. Такое сочетание удобрений и извести обеспечивает более высокое устойчивое состояние объемной массы подпахотного слоя: если на контроле оно составляло 1,5 г/см³, то в первый год после рыхления, внесения извести и удобрений составило 1,24 г/см³, во второй – 1,30 г/см³. По данным ООН, в настоящее время во многих странах мира происходит постоянный рост площадей, на которых проводят глубокое рыхление (Тома, 1982).

Исследования в Прикарпатье (Подпалый и др., 1974) показывают, что рыхление дренированных тяжелых почв способствуют повышению урожая на 18–24%, по данным, полученным в БССР, – на 20–40%, в ГДР – на 10–15%, в ФРГ применение рыхлителей фирмы "Бренинг" с активными рабочими органами обеспечило повышение урожая на 10–18%. Весьма различны сведения и о последствии глубокого рыхления. В СССР эффект последствия оценен в 2–3 года (Маслов, 1981), в ФРГ от 4–6 до 10 лет (Schulte-Karring, 1970).

В условиях хлопкосеяния Узбекистана рыхление на глубину 55 и 80 см за 3 года по сравнению с контролем обеспечило получение дополнительно силосной массы кукурузы и сена люцерны до 92,6 ц кормовых единиц с 1 га, при контрольном урожае 467 ц кормовых единиц. Прибавка урожая хлопка-сырца после распахки люцерны в течение 4 лет ежегодно по рыхлению составила 2,7–5,1 ц/га (Закиров, Умарова, 1969).

Анализ показывает, что воздействие тяжелой мобильной сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий приводит к образованию плужной подошвы и чрезмерному уплотнению подпахотных горизонтов. Для ликвидации этих неблагоприятных последствий необходимо периодическое глубокое мелиоративное рыхление.

Определение потребности глубокого рыхления почвы зависит от ряда почвенных, климатических, морфологических, гидрологических и других факторов. Если хотя бы один из факторов не учитывается должным образом, то снижается эффективность глубокой обработки почвы.

Рассмотрим результаты исследования агротехнических приемов снижения уплотнения дерново-подзолистых суглинистых почв. Работы проведены в 1978–1985 гг. в стационарном полевом опыте в учхозе "Михайловское" (Московская обл.). Опыт имеет две закладки, в каждой из которых развернут во времени следующий севооборот: 1) бобово-злаковая смесь; 2) озимая пшеница; 3) ячмень. В одной закладке опыта чередование начато с вико-овсяной смеси, в другой – с ячменя. В опыте на фоне одно-двукратного уплотнения почвы тракторами МТЗ-80, Т-150, Т-150К и К-700 изучались следующие варианты агротехнических приемов разуплотнения: традиционные методы; чизелевание на глубину 38–40 см под картофель и озимую пшеницу + традиционные; чизелевание на глубину 38–40 см под картофель и озимую пшеницу + предпосевное фрезирование.

Традиционные приемы разуплотнения включали лущение жнивья и зяблевую вспашку на глубину 20–22 см под яровые культуры и озимую пшеницу, предпосевную культивацию с одновременным боронованием и обработкой РВК-3,6 под бобово-злаковую смесь и зерновые культуры, перепашку зяби на 16–18 см и предпосевную культивацию на 8–10 см под картофель. В вариантах сочетания чизелевания и традиционных методов проводили весеннее рыхление чизелем¹ на глубину 38–40 см под картофель и осеннее на эту же глубину под озимую пшеницу. Остальные приемы обработки соответствовали варианту с традиционными методами.

На делянках с сочетанием чизелевания и фрезерования основная обработка почвы была такой же, как и в вариантах с традиционными приемами, а предпосевное фрезерование под бобово-злаковую смесь и ячмень выполняли на глубину 6–8 см трактором Т-150К в агрегате с фрезерным культиватором КФГ-3,6. В этом варианте под картофель и озимую пшеницу проводили вспашку ротационным плугом ПР-2,7 соответственно на глубину 16–18 и 20–22 см.

В исследованиях применили метод расщепленных делянок с рендомизированным размещением вариантов; повторность опытных вариантов в каждой закладке двукратная, контрольных – шестикратная. Общая площадь одной делянки первого порядка, где размещали варианты фактора *A*, составляла 1800 м², второго (варианты фактора *B*) – 600 м² и третьего (варианты фактора *C*) – 200 м². Урожай учитывали сплошным методом, данные подвергали дисперсионному анализу.

Перед закладкой опытов дерново-подзолистая среднесуглинистая почва характеризовалась средней степенью окультуренности. Пахотный слой (глубина 20–22 см) почвы опытных участков имел следующие агрохимические показатели: содержание гумуса 1,5–1,7%; легкогидролизуемого азота – 4–8; Р₂О₅ – 5–6, К₂О – 8–10 мг на 100 г почвы; гидролитическая кислотность – 3,6–4,0; сумма обменных оснований – 12–14 мг-экв на 100 г почвы; рН солевой 4,4–4,6. Подпахотный слой (20–40 см) содержал в среднем 0,7% гумуса, рН солевой 3,4, гидролитическая кислотность 4,4 мг-экв, сумма обменных оснований 11 мг-экв на 100 г почвы, содержание Р₂О₅ и К₂О соответственно 3,0 и 5,5 мг на 100 г почвы.

Органические и минеральные удобрения на опытном участке вносили общим фоном: навоз в дозе 80 т/га перед основной обработкой почвы под картофель, минеральные удобрения N₉₀P₉₀K₉₀ до предпосевной (предпосадочной) обработки под бобово-злаковую смесь, ячмень, озимую пшеницу и картофель. Остальные приемы агротехники полевых культур соответствовали рекомендациям для данной зоны.

Традиционные методы снижения уплотнения почвы – вспашка на глубину 20–22 см, перепашка зяби на 16–18 см, предпосевные культивации на 6–8 и 8–10 см – не устраняли отрицательных последствий предшествующих уплотнений пахотного слоя тракторами и тем более не снимали остаточных деформаций в подпахотных слоях.

Лучшее разуплотнение дерново-подзолистой суглинистой почвы достигалось интенсивными приемами -- чизелеванием на глубину 38–40 см

¹ Использовался чизельный плуг ПЧ-2,7 конструкции Всесоюзного института сельскохозяйственного опытного машиностроения (ВИСХОМ).

дважды за ротацию зерно-пропашного севооборота и сочетанием такого же чизелевания с разноглубинной фрезерной обработкой. Эти приемы не ухудшали качества разделки почвы, причем глыбистость поверхности поля была примерно одинаковой и при подготовке почвы под картофель и озимую пшеницу в среднем составляла: при отвальной обработке — 10–12%, при сочетании чизелевания и вспашки (перепашки) — 8–11% и при сочетании чизелевания и фрезерования — 6–7%.

Создание мелкокомковатого посевного слоя в сочетании с глубокой обработкой чизелами создавало благоприятные условия для прорастания клубней картофеля, семян озимой пшеницы, ячменя и бобово-злаковой смеси и дальнейшей жизнедеятельности растений. В результате полевая всхожесть семян или клубней возделываемых культур была в среднем на 11–13% выше, чем на контроле. В вариантах с чизелеванием отмечена более высокая степень перезимовки растений озимой пшеницы и густота продуктивного стеблестоя перед уборкой зерновых культур. Различия составляли 10–17% в пользу вариантов с чизелеванием.

Глубокая обработка чизелем улучшала сложение как пахотного (0–20 см), так и подпахотного (20–40 см) слоев почвы. В среднем за вегетацию картофеля и озимой пшеницы объемная масса слоя почвы 20–40 см в вариантах, где для разуплотнения проводили чизелевание, была на 0,04–0,13 г/см³ ниже, чем на неразрыхленных. Пахотный слой в этом случае сохранял также более рыхлое сложение. Положительный эффект чизелевания сохранялся и в последствии, при выращивании ячменя и бобово-злаковой смеси. Разноглубинное фрезерование под озимые (20–22 см), картофель (16–18 см) и яровые культуры сплошного сева (6–8 см) по фону чизелевания обеспечивало более рыхлое сложение обрабатываемого слоя лишь в начальные периоды роста и развития растений; к концу вегетации различия в плотности сглаживались (табл. 101).

Под действием чизелевания улучшались водно-воздушные свойства пахотного и в более значительной степени подпахотного слоев: на 40–70% возросла пористость аэрации, повысилась фильтрационная способность и воздухоемкость, увеличилась влагоемкость. Запасы доступной влаги в метровом слое почвы в этих вариантах были выше на 10–15 мм, а ее использование было более продуктивным. Коэффициент водопотребления был ниже на 11–15% у картофеля, на 6–13% у ячменя, на 12–18% у горохо-овсяной смеси и на 13–26% у озимой пшеницы. Особенно эффективно чизелевание воздействовало на элементы водно-воздушного режима в экстремальные по увлажнению годы.

Твердость дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы коррелировала с глубиной обработки, интенсивностью крошения и ее влажностью. Во все годы исследований твердость слоев почвы 0–20 и 0–30 см на делянках, разрыхленных чизелем на глубину 38–40 см, была существенно ниже, чем при традиционной обработке под полевые культуры. Так, сочетание глубокого чизелевания с традиционными приемами обработки снижало твердость пахотного слоя почвы в среднем за вегетацию картофеля на 13,7%, а сочетание его с предпосадочным фрезерованием — на 23,3%. Снижение твердости в среднем за вегетацию озимой пшеницы составило 16,7 и 21,7% соответственно.

На делянках с двукратным уплотнением тракторами МТЗ-80, Т-150

Действие приемов разуплотнения на объемную массу, г/см²,
дерново-подзолистой почвы под полевыми культурами. В среднем за вегетацию

Культура	Годы	Слой почвы, см	Традиционные приемы			Чизелевание + традиционные приемы			Чизелевание + фрезерование		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Картофель	1978–1979	0–20	1,34	1,38	1,37	1,25	1,29	1,28	1,29	1,31	1,34
		20–40	1,49	1,53	1,56	1,42	1,41	1,43	1,42	1,46	1,47
Ячмень	1979–1980	0–20	1,42	1,48	1,48	1,38	1,47	1,46	1,40	1,46	1,44
		20–40	1,48	1,53	1,54	1,47	1,51	1,50	1,48	1,51	1,51
Горохо-овсян- ная смесь	1980–1981	0–20	1,34	1,42	1,44	1,33	1,40	1,42	1,34	1,40	1,42
		20–40	1,48	1,52	1,54	1,43	1,47	1,48	1,45	1,46	1,50
Озимая пшени- ца	1981–1982	0–20	1,37	1,40	1,42	1,33	1,34	1,36	1,34	1,34	1,37
		20–40	1,48	1,52	1,55	1,42	1,44	1,47	1,44	1,44	1,48
Картофель	1983–1984	0–20	1,23	1,24	1,23	1,22	1,21	1,19	1,14	1,16	1,16
		20–40	1,48	1,52	1,52	1,40	1,44	1,44	1,40	1,41	1,42
Ячмень	1984–1985	0–20	1,23	1,32	1,37	1,21	1,26	1,30	1,12	1,20	1,20
		20–40	1,45	1,53	1,57	1,44	1,46	1,50	1,44	1,44	1,46
В среднем		0–20	1,32	1,37	1,39	1,29	1,33	1,34	1,27	1,31	1,32
		20–40	1,48	1,52	1,55	1,43	1,46	1,47	1,43	1,45	1,45

Примечание. 1 – без уплотнения (контроль); 2 – среднее уплотнение (МТЗ-80, Т-150); 3 – сильное уплотнение (Т-150К, К-700).

и Т-150К обработка чизелем снижала твердость пахотного слоя до уровня контроля. Такую же зависимость в изменении твердости отмечали и в слое почвы 0–30 см. Но при накоплении 8–20-кратного в сумме за 4–10 лет уплотнения тракторами Т-150К и К-700 чизелевание не снимало полностью повышенной твердости верхнего 30-сантиметрового слоя почвы. Остаточная деформация составила при этом 14–24%. В дальнейшем на разрыхленных чизелем делянках сохранялась более низкая твердость слоев почвы 0–20 и 0–30 м.

Интенсивное крошение обрабатываемого слоя почвы при чизелевании в сочетании с обычной или фрезерной обработкой оказало благоприятное влияние на ее структурное состояние. Так, в среднем за 7 лет по двум закладкам опыта количество агрономически ценных агрегатов размером 10,0–0,25 мм увеличилось на 8–16%, а содержание пыли и микроагрегатов диаметром менее 0,25 мм снизилось на 2–8% в пахотном и на 20–22% в подпахотном слоях. В этих вариантах водопрочность структуры возросла с 30–35 до 42–46%, что благоприятно сказалось на урожайности полевых культур.

Чизелевание уплотненного до 1,5 г/см³ и более подпахотного слоя (20–40 см) дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в сочетании с традиционной или фрезерной обработкой оказывало положительное действие на урожайность картофеля и озимой пшеницы. Прибавки урожая клубней картофеля и зерна озимой пшеницы были существенными и составляли 15,1–25,8 и 2,8–4,2 ц/га соответственно.

В последствии чизелевание повышало урожай последующих культур севооборота. Так, в среднем по двум закладкам опыта прибавка урожая ячменя от последствия чизелевания составляла в среднем по восьми вариантам уплотнения 1,8–2,3 ц/га (6,4–11,6%), прибавка урожайности сена горохо-овсяной смеси была 6,3–8,1 ц/га (11,7–15,0%, табл. 102).

Проведенное дважды за ротацию пятипольного севооборота чизелевание на глубину 38–40 см повысило продуктивность возделываемых культур в среднем за 7 лет на 9,9%, а чизелевание в сочетании с разноглубинным фрезерованием – на 13,7%. Следует отметить, что применение сочетания чизелевания и фрезерования в значительной степени уменьшало отрицательные последствия переуплотнения дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы движителями современных тракторов, но не устраняло их полностью (табл. 103).

В 1980–1985 гг. в учхозе ТСХА "Михайловское" (Московская область) весеннее глубокое чизелевание ежегодно применяли на площади 460–560 га под пропашные культуры (картофель, кукуруза, кормовая свекла) и в занятом пару. Использовали чизельный плуг ПЧУ-4,5 с дополнительными рабочими органами – игольчатыми дисками. Плуг ПЧУ-4,5 за один проход рыхлит почву на заданную глубину (до 40–45 см) и одновременно интенсивно крошит пахотный слой игольчатыми дисками. Он агрегируется с трактором К-700 (К-700А, К-701). Опытная партия чизельных плугов ПЧУ-4,5 с игольчатыми дисками используется в ряде хозяйств Московской области.

Повышение урожайности полевых культур при чизелевании составило: картофеля в среднем за 3 года – 33 ц/га (урожайность при обычной обработке 206 ц/га); зеленой массы кукурузы в среднем за 5 лет – 69 ц/га

**Действие и последствие приемов разуплотнения
на урожайность полевых культур, ц/га**

Культура	Годы	НСР	Традиционные приемы		Чизелевание + традиционные приемы		Чизелевание + фрезерование	
			1	2	1	2	1	2
Картофель	1978-1979	13,2	150,4	140,0	159,6	151,2	167,8	162,4
Ячмень	1979-1980	2,0	27,7	21,6	27,2	23,8	26,4	23,0
Горохо-овсянная смесь (сено)	1980-1981	4,4	59,1	52,4	67,0	60,4	57,6	58,8
Озимая пшеница	1981-1982	2,1	33,9	27,8	35,6	31,8	36,2	34,0
Ячмень	1982-1983	1,4	33,8	30,4	36,3	33,5	38,1	34,5
Картофель	1983-1984	6,6	220,2	195,0	239,6	219,0	247,6	227,5
Ячмень	1984-1985	1,3	35,3	32,2	39,8	35,8	38,1	36,3
В среднем, ц корм.ед. с 1 га			42,4	37,2	45,4	41,5	45,6	42,7

Примечание. 1 — без уплотнения (контроль); 2 — в среднем по тракторам: МТЗ-80, Т-150, Т-150К и К-700.

**Продуктивность зернопропашного севооборота, ц корм.ед.
основной продукции с 1 га, в зависимости от действия
ходовых систем тракторов и приемов разуплотнения.
Среднее по двум закладкам опыта. 1978-1985 гг.**

Вариант опыта	Число проходов	Традиционные приемы	Чизелевание + традиционные приемы	Чизелевание + фрезерование
Без уплотнения (контроль)	0	296,8	319,0	319,0
МТЗ-80	1	191,9	304,8	328,5
	2	265,2	299,1	316,0
Т-150	1	266,9	300,8	313,7
	2	264,7	283,2	289,8
Т-150К	1	266,3	291,8	297,4
	2	266,1	296,2	302,9
К-700	2	234,1	270,4	280,3
В среднем	—	269,0	295,7	306,0
То же, %	—	100,0	109,9	113,7

(411 ц/га); кормовой свеклы и зеленой массы бобово-злаковых смесей в среднем за 2 года 87 ц/га (490 ц/га) и 23 ц/га (216 ц/га) соответственно.

Чизелевание полянок, уплотненных ходовыми системами тракторов, дало существенный экономический эффект как при прямом действии, так и в последствии. Чистый доход при чизелевании под картофель в сочетании с традиционными приемами или фрезерованием был больше, чем только при применении традиционных приемов разуплотнения, на 12,7–26,4%, себестоимость 1 ц клубней ниже на 4,8–9,8%, а уровень рентабельности выше на 9,7–21,4%. В последствии на ячмене повышение чистого дохода составляло 19,9–25,2%, снижение себестоимости продукции – 9,0–10,4%, рост производительности труда – 7,9–13,2%, увеличение уровня рентабельности – 18,3–20,8%. При возделывании горохо-овсяной смеси эти показатели были равны соответственно 18,4–20,9; 7,7–9,6; 4,5–6,7 и 11,2–13,6%.

Чизелевание неуплотненной дополнительной приходами тракторов почвы также было экономически выгодно как в сочетании с фрезерованием, так и в сочетании с традиционными приемами разуплотнения. Обеспечивая повышение продуктивности зерно-пропашного севооборота, весеннее чизелевание почвы под картофель и осеннее – под озимую пшеницу увеличивало чистый доход с 1 га, обеспечивало рост производительности труда и рентабельности.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ И ПРОГНОЗ УПЛОТНЕНИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ СТРАНЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ ДАВЛЕНИЙ НА ПОЧВУ

Регламентация уровня воздействия движителей на почву возможна, если известны компоненты и взаимосвязь в следующей цепи: величина и характер распределения внешних сил – напряженное состояние почвы – физическое состояние почвы – интенсивность протекания различных процессов.

Для выявления принципиальных закономерностей взаимосвязи между внешней нагрузкой и изменением физических характеристик почвы в ряде случаев используют жесткие прямоугольные штампы (деформаторы), при этом предполагается, что давление под штампом распределено равномерно.

Можно утверждать, что в диапазоне реальных давлений, действующих в контакте движителей с почвой, с помощью жестких прямоугольных штампов могут быть определены весьма важные зависимости изменения ряда физических параметров почвы. На базе этих зависимостей и с учетом результатов исследований конкретных вариантов техники в системе движитель – почва могут быть найдены, по крайней мере в первом приближении, допустимые величины внешнего воздействия на почву.

Штамповые испытания проводились на дерново-подзолистой почве –

ОПХ "Каменка", (база Всесоюзного института механизации – ВИМ) и на серой лесной почве (Иваньковский опорный пункт Почвенного института им В.В. Докучаева).

При работе на дерново-подзолистой почве были использованы жесткие прямоугольные штампы следующих размеров: $15 \times 15 = 225 \text{ см}^2 (F_1)$; $17 \times 39 = 663 \text{ см}^2 (F_2)$; $34,5 \times 34,5 = 1190 \text{ см}^2 (F_3)$. Для нагружения штампов была использована установка на базе тракторов "Беларусь" конструкции ВИМ. Для выравнивания исходных характеристик почвы осенью 1982 г. поле было прочизелено, а весной 1983 г. прокультивировано.

В местах отпечатков штампов определяли следующие характеристики почвы: плотность, твердость, весовую влажность. Были отобраны также образцы для определения структурного состава (глыбистость, водопрочность, порозность агрегатов) и образцы для определения капиллярно-сорбционного потенциала.

В процессе работы было два этапа: первый – использование одного штампа площадью 663 см^2 с возрастающими давлениями нагрузки 50 кПа (q_1), 125 кПа (q_2) 200 кПа (q_3).

В табл. 104 представлены данные по изменению плотности и твердости под действием нагрузки. Повторность определений – шестикратная. Значения плотности на контроле при влажности 0,9–1,0 НВ (24–26%, май 1982 г.) изменяются от $1,18 \text{ г/см}^3$ в слое 0–10 см до $1,44 \text{ г/см}^3$ в слое 20–30 см. Необходимо отметить сильную исходную уплотненность подпахотного слоя и нижней части пахотного. При возрастании нагрузки от 50 до 200 кПа значения плотности увеличиваются в слое 1–10 см от $1,18$ до $1,39 \text{ г/см}^3$, в слое 10–20 см – от $1,29$ до $1,42 \text{ г/см}^3$. Ниже различия статистически незначимы. Давление $0,5 \text{ кг/см}^2$ практически не сказалось на плотности и твердости исходно уплотненной почвы.

При влажности 0,8–0,9 НВ (22–24%, июль 1983 г.) плотность почвы увеличивалась с ростом нагрузки, особенно сильные изменения наблюдались в слое 0–10 см. Изменение плотности при давлении 50 кПа статистически незначимо по сравнению с контролем. При увеличении давления до 200 кПа плотность почвы закономерно возрастала до $1,40 \text{ г/см}^3$ (при давлении 200 кПа); твердость почвы также закономерно возрастала.

При влажности 0,6–0,7 НВ (20–22%, май 1983 г.), но при более рыхлом исходном состоянии давление 50 кПа сказалось на плотности почвы. Изменение давления нагрузки от 125 до 200 кПа не изменило ее плотности.

При влажности 1,0–0,9 НВ и постоянной нагрузке 125 кПа прослеживается тенденция повышения плотности и твердости (табл. 105) с увеличением площади штампа. Подтверждена известная в механике грунтов закономерность: чем больше площадь нагрузки, тем на большую глубину передаются контактные давления. Данная закономерность сохраняется лишь при высокой влажности (1,0–0,9 НВ).

Исходя из того, что верхним пределом оптимальной плотности для роста растений является величина $1,3 \text{ г/см}^3$, нами были посчитаны допустимые нормы нагрузки на почву. Откладывая по оси ординат нагрузку (кПа), а по оси абсцисс средневзвешенную плотность пахотного слоя (г/см^3), находим допустимую норму нагрузки. При влажности 24–26 и 20–22% допустимая норма нагрузки на дерново-подзолистую суглинистую почву составляет ~ 90 кПа.

Изменение плотности, г/см³, и твердости, кг/см²,
дерново-подзолистой почвы под действием нагрузки. Площадь штампа 663 см²

Глубина, см	Контроль		50 кПа	
	Плотность	Твердость	Плотность	Твердость
1-0,9 НВ (24-26% от массы), май 1982 г.				
0-10	1,18 ± 0,03	0,4 ± 0,1	1,18 ± 0,07	0,4 ± 0,1
10-20	1,29 ± 0,05	2,6 ± 1,0	1,31 ± 0,06	3,6 ± 0,9
20-30	1,44 ± 0,06	6,4 ± 2,1	1,42 ± 0,08	11,0 ± 3,2
0,8-0,7 НВ (20-22%), май 1983 г.				
0-10	1,14 ± 0,04	2,6 ± 0,8	1,23 ± 0,06	2,8 ± 0,9
10-20	1,19 ± 0,06	7,2 ± 2,8	1,30 ± 0,06	8,3 ± 3,0
20-30	1,26 ± 0,05	12,8 ± 4,0	1,48 ± 0,08	14,3 ± 5,0
0,9-0,8 НВ (22-24%), июль 1983 г.				
0-10	1,24 ± 0,04	2,0 ± 0,7	1,27 ± 0,03	3,2 ± 0,8
10-20	1,32 ± 0,06	7,7 ± 2,6	1,34 ± 0,06	10,2 ± 3,3
20-30	1,37 ± 0,05	15,8 ± 4,6	1,42 ± 0,04	17,1 ± 5,1

Глубина, см	125 кПа		200 кПа	
	Плотность	Твердость	Плотность	Твердость
1-0,9 НВ (24-26% от массы), май 1982 г.				
0-10	1,32 ± 0,04	1,2 ± 0,5	1,39 ± 0,05	1,5 ± 0,5
10-20	1,39 ± 0,06	5,3 ± 1,5	1,42 ± 0,06	6,8 ± 1,3
20-30	1,46 ± 0,07	12,5 ± 3,6	1,46 ± 0,05	16,1 ± 3,8
0,8-0,7 НВ (20-22%), май 1983 г.				
0-10	1,30 ± 0,05	2,6 ± 0,8	1,30 ± 0,03	3,0 ± 1,0
10-20	1,34 ± 0,06	7,4 ± 3,0	1,4 ± 0,06	9,2 ± 3,0
20-30	1,46 ± 0,06	15,4 ± 4,0	1,50 ± 0,07	16,2 ± 5,1
0,9-0,8 НВ (22-24%), июль 1983 г.				
0-10	1,36 ± 0,06	3,7 ± 1,2	1,40 ± 0,04	4,7 ± 1,2
10-20	1,40 ± 0,03	9,2 ± 3,1	1,44 ± 0,05	11,0 ± 3,6
20-30	1,45 ± 0,05	17,1 ± 5,0	1,49 ± 0,07	16,8 ± 5,1

После действия нагрузки были отобраны шлифы вертикальной и горизонтальной ориентации и проанализировано изменение структуры порового пространства под действием нагрузки. Подсчет пор проводился на фотограммах шлифов масштаба 1:3. Каждый шлиф характеризовался одной фотограммой. Минимальный размер видимой порозности составил 40 мкм.

Почвенная масса имеет компактное микросложение, хорошо агрегирована. Агрегаты округлой, угловато-округлой формы, разьединены узкими извилистыми порами. Встречаются поры трех типов: I — крупные (2-5 мм) поры-камеры неправильной формы, реже вытянутые; II — межагрегатные

Изменение плотности, г/см³, и твердости, кг/см²,
дерново-подзолистой почвы при действии различных штампов.
Давление 125 кПа

Глубина, см	S штампа 225 см ²		S штампа 663 см ²		S штампа 1190 см ²	
	Плотность	Твердость	Плотность	Твердость	Плотность	Твердость
1,0–0,9 НВ (23–26%), май 1982 г.						
0–10	1,33±0,05	0,5±0,1	1,32±0,03	1,2±0,5	1,34±0,03	1,2±0,5
10–20	1,34±0,04	4,7±1,2	1,39±0,06	5,3±1,5	1,39±0,06	5,5±1,5
20–30	1,41±0,06	11,5±2,6	1,46±0,03	12,5±3,6	1,46±0,06	12,1±3,0
0,8–0,7 НВ (20–22%), май 1983 г.						
0–10	1,33±0,04	3,2±1,0	1,30±0,05	2,6±0,9	1,31±0,05	2,7±0,9
10–20	1,35±0,06	8,1±2,6	1,34±0,06	7,4±2,5	1,34±0,06	7,4±2,8
20–30	1,49±0,05	13,8±4,5	1,46±0,06	15,0±5,0	1,45±0,07	15,0±5,0
0,9–0,8 НВ (22–24%), июль 1983 г.						
0–10	1,34±0,05	3,2±1,0	1,36±0,06	3,7±1,0	1,36±0,04	3,8±1,1
10–20	1,40±0,06	8,8±2,8	1,40±0,03	9,2±2,8	1,39±0,05	9,6±3,0
20–30	1,46±0,04	15,6±5,0	1,45±0,05	16,0±5,1	1,48±0,06	18,5±5,2

поры-каналы, слабоветвящиеся; III – мелкие точечные округлые поры, внутриагрегатные, равномерно распределены по площади шлифа. Микросложные агрегатов плазменно-пылеватое.

Анализ фотোগрамм горизонтальных шлифов показал, что под действием нагрузки видимая порозность уменьшается в 3–4 раза, однако уменьшение диаметра пор разного размера неоднозначно. При давлении 50 кПа пористость в интервале 40–1000 мкм меняется незначительно, изменения происходят за счет более крупных пор.

Так, на контроле встречаются поры до 5 мм, причем на их долю приходится треть видимой порозности. Под действием нагрузки 50 кПа максимальный размер пор сокращается до 2,0–2,2 мм. При нагрузке 300 кПа (q_4) наблюдаются изменения в тонкой пористости. Крупные поры уже уплотнились под действием нагрузки, изменения захватывают поры диаметром менее 40 мкм.

В вертикальных шлифах тенденция уменьшения размера пор сохранилась, но выражена в меньшей степени. Связано это, по-видимому, с тем, что максимальная реакция на уплотнение выражена в верхних слоях почвы. Горизонтальные шлифы были взяты именно в этой плоскости.

Для горизонтальных и вертикальных шлифов был подсчитан форм-фактор – отношение общей видимой порозности к периметру в квадрате. Физический смысл этого показателя – чем меньше форм-фактор, тем меньше округлость пор. И в горизонтальных, и в вертикальных шлифах отмечена тенденция уменьшения форм-фактора под действием нагрузки, т.е. округлость пор уменьшается, возрастает степень их изрезанности.

Для вертикальных шлифов была подсчитана степень ориентации. Под действием нагрузки степень ориентации возрастает, т.е. при нагрузке 300 кПа поры ориентируются перпендикулярно действию нагрузки.

Наблюдения за структурой порового пространства под электронным микроскопом показали уменьшение под нагрузкой 300 кПа размера пор более 10 мкм, поры упаковки (< 10 мкм) под действием нагрузки остаются стабильными.

Для характеристики изменения структурного состояния использовали такие показатели, как структурный состав, водопрочность структуры, порозность агрегатов, общая и межагрегатная порозность. Структурный состав и водопрочность структуры по Саввинову определяли в шестикратной повторности, порозность агрегатов — в двенадцатикратной.

Испытания проведены при трех степенях увлажнения. При увлажнении, равном 18–20% (0,7–0,8 НВ), получены изменения, показанные в табл. 106. В структурном составе можно отметить лишь как тенденцию увеличение содержания агрегатов более 10 мм. На 13–14% возрастает количество этих агрегатов на вариантах с наибольшим давлением (q_4) и наибольшим штампом (F_3q_2).

Распределение агрегатов по размерам фракций сходно с распределением в контрольных образцах. Содержание пылевой фракции не превышает 5–10% по всем вариантам опыта. Водопрочность структуры на вариантах незначительно отличается от водопрочности на контроле (при небольших нагрузках на 4–7% больше).

Порозность агрегатов на всех вариантах уплотнения оказалась равной 37–38%, т.е. при данной влажности порозность агрегатов не менялась. Произошли изменения в межагрегатной порозности под действием наибольших нагрузок (F_1q_4 , F_3q_2 , F_2q_3) — она уменьшилась на 6–10%.

При влажности 22–24% значительных изменений под действием нагрузок также не обнаружено. Количество агрегатов более 10 мм и порозность агрегатов остались на том же уровне. Снижение межагрегатной пористости на 6% отмечено на тех же вариантах уплотнения, что и при влажности 18–20% — F_1q_4 , F_2q_3 , F_3q_2 . При более высокой влажности почвы при штамповых испытаниях (24–26%, или 0,9–1,0 НВ) наблюдаются значительные изменения в ее структурном составе. По результатам сухого просеивания обнаружено повышение содержания агрегатов более 10 мм. Увеличение площади штампа не привело к повышению количества крупных агрегатов, но с увеличением нагрузки их содержание возрастает на 10–12%, достигая 68 и 76% в вариантах с максимальным давлением (F_1q_4). С увеличением давления отмечается тенденция повышения водопрочности структуры. Строгой закономерности в изменении величин водопрочности структуры по вариантам уплотнения не обнаружено. Существенное увеличение водопрочности (до 50%) наблюдается на вариантах с давлением 125, 200 и 300 кПа. При данной влажности зафиксировано уменьшение порозности агрегатов под действием нагрузок. Снижение незначительно, но отмечается во всех вариантах опыта.

На вариантах F_2q_2 и F_1q_4 порозность агрегатов снизилась до 32–34%. Для создания в агрегатах 5–7 мм меньшей порозности, чем 32%, требуется приложение значительных нагрузок, которые, по-видимому, приведут к разрушению агрегатов.

Межагрегатная порозность также снижается под действием нагрузок. Различий в действии нагрузок по слоям 0–10 и 10–20 см не обнаружено. Четкой зависимости изменения структуры от величины давления и площади

Изменение структуры дерново-подзолистой почвы при штамповых испытаниях

Показатель	Конт- роль	225* 125	225 300	663 50	663 125	663 200	1190 125
0,7–0,8 НВ (18–22%)							
Содержание агре- гатов > 10 мм, %	43,3	49,3	57,1	46,5	45,3	45,4	56,3
Водопрочность, %	44,4	45,1	45,8	41,9	51,0	48,3	48,0
Порозность, %							
общая	57,5	50,4	48,5	54,1	54,9	51,1	51,1
агрегатная	37,4	37,8	38,4	37,8	37,9	37,4	37,1
межагрегатная	20,1	12,6	10,1	16,3	17,0	14,0	14,0
0,8–0,9 НВ (22–24%)							
Содержание агре- гатов > 10 мм, %	55,3	48,7	48,8	45,5	43,8	51,9	51,9
Порозность, %							
общая	53,7	50,0	47,4	52,6	49,3	47,8	49,3
агрегатная	37,7	37,5	37,4	37,2	37,5	37,7	37,4
межагрегатная	16,0	12,5	10,0	15,4	11,8	10,1	11,9
0,9–1,0 НВ (24–26%)							
Содержание агре- гатов > 10 мм, %							
0–10 см	65,4	54,3	76,4	67,2	71,6	59,5	60,6
10–20 см	57,6	61,1	68,1	64,6	72,4	58,1	67,8
Водопрочность, %							
0–10 см	40,8	44,3	47,7	42,1	49,5	46,3	43,6
10–20 см	43,2	42,0	49,5	45,2	48,1	50,4	42,9
Порозность, %							
общая							
0–10 см	56,0	50,4	48,1	56,0	50,7	48,1	50,0
10–20 см	51,9	50,0	47,4	51,1	48,1	47,0	48,1
агрегатная							
0–10 см	38,1	34,9	33,7	37,9	32,4	37,5	37,2
10–20 см	38,2	34,8	34,0	37,3	34,9	34,6	36,4
межагрегатная							
0–10 см	17,9	15,5	14,4	18,1	18,3	10,6	12,8
10–20 см	13,7	15,2	13,4	13,8	13,2	12,4	11,4

* Числитель – площадь штампа, см; знаменатель – величина нагрузки, кПа.

штампа не выявлено, так как почва в исходном состоянии обладала неблагоприятной структурой. Нагрузка 50 кПа и штамп площадью 225 см² не вызывали заметного изменения структуры. Но на вариантах F_2q_2 и F_1q_4 можно отметить ухудшение структурного состояния почвы при всех степенях увлажнения.

Полученные результаты показали, что действие нагрузок на дерново-подзолистую почву при невысокой влажности вызывает снижение общей и межагрегатной порозности. При уплотнении почвы во влажном состоянии

Изменение физических свойств серой лесной почвы при нагрузке

Показатель	Глубина, см	Контроль	Нагрузка, кПа		
			50	125	200
I срок наблюдений (после действия нагрузки и после посева ячменя)					
Плотность, г/см ³	0-10	1,23	1,27	1,36	1,48
	10-20	1,35	1,39	1,48	1,61
Порозность общая, %	0-10	53,4	51,9	48,5	43,9
	10-20	49,2	47,7	44,4	39,5
Порозность агрегатов, %	0-10	40,5	39,2	37,8	37,1
Содержание агрегатов > 10 мм, %	0-10	25,2	37,6	74,0	75,1
	10-20	25,0	26,5	31,0	33,4
Коэффициент структурности, доли единицы	0-10	1,3	1,1	0,26	0,26
	10-20	1,0	0,9	0,07	0,21
Содержание водопрочных агрегатов > 0,26 мм, %	0-10	25,0	26,5	31,0	33,4
	10-20	30,8	32,6	44,8	43,3
II срок наблюдений (в конце вегетации ячменя)					
Плотность, г/см ³	0-10	1,30	1,32	1,38	1,56
	10-20	1,44	1,50	1,53	1,69
Порозность общая, %	0-10	50,8	50,0	47,7	40,9
	10-20	45,9	43,6	42,5	36,5
Порозность агрегатов, %	0-10	40,8	37,8	34,4	34,8
Содержание агрегатов, %	0-10	29,6	27,9	40,3	53,4
	10-20	69,4	64,9	54,5	59,2
Коэффициент структурности, доли единицы	0-10	1,6	1,7	1,0	0,63
	10-20	0,3	0,4	0,6	0,50
Содержание водопрочных агрегатов > 0,25 мм, %	0-10	22,2	25,8	30,8	33,2
	10-20	38,9	40,9	42,1	42,6

(при влажности, близкой к НВ) идет образование глыбистой структуры, снижение как общей и межагрегатной порозности, так и порозности агрегатов.

В исследованиях на серой лесной почве использовали штамп площадью 663 см² с возрастающим давлением (50, 125 и 200 кПа). В местах отпечатков штампов определения физических свойств почвы проводили на поле с посевом ячменя в два срока — после посева ячменя (влажность 21–23% от массы, 0,7–0,8 НВ) и в конце вегетационного периода развития ячменя (влажность 14–16% от массы почвы).

Уплотнение почвы в полевых условиях при нагрузке до 200 кПа привело к изменениям ее физических свойств (табл. 107). Плотность почвы закономерно увеличилась с 1,23 до 1,48 г/см³ (слой 0–10 см). Результаты

анализа сухого просеивания показали, что под действием нагрузки происходит увеличение глыбистой (> 10 мм) фракции в структурном составе почвы. При этом заметно снижается количество агрономически ценных агрегатов (10–1 мм). Коэффициент структурности (отношение агрономически ценных агрегатов от 10 до 1 мм к сумме агрегатов > 10 и < 1 мм) на вариантах с нагрузкой значительно ниже, чем на контроле. Содержание водопрочных агрегатов с ростом нагрузки увеличивается, что связано с уменьшением порозности агрегатов.

Влияние структурного состава почв на их агрофизические свойства и урожай сельскохозяйственных культур зависит прежде всего от распределения агрегатов по размерам и их устойчивости (механическая прочность и водопрочность). Однако строение и прежде всего порозность агрегатов имеют не меньшее значение. Аэрация корней растений и почвенных микроорганизмов зависит не только от межагрегатной порозности, но и от порозности агрегатов. При действии нагрузки порозность агрегатов снижается.

Наиболее резко физические свойства серой лесной почвы меняются при давлении 125 кПа. Необратимые в течение вегетационного периода изменения в физических свойствах также фиксируются при давлении 125 кПа. Следовательно, допустимая норма статической нагрузки на почву должна быть меньше данной величины. Верхний оптимальный предел плотности для большинства культурных растений на серой лесной почве также равен $1,30$ г/см³. Была предпринята попытка поиска допустимой нормы статической нагрузки на почву при влажности 21–23% от массы. Откладывая по оси ординат нагрузку, а по оси абсцисс величину плотности, находим, что значению $1,30$ г/см³ соответствует нагрузка, равная 80 кПа. Следовательно, допустимая норма статической нагрузки на почву должна быть меньше данной величины.

Таким образом, допустимая норма статической нагрузки на дерново-подзолистую суглинистую почву в интервале влажности 20–26% от массы составляет 90 кПа, на серую лесную почву при влажности 21–23% – 80 кПа.

ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ НАГРУЗКИ МТА НА ПОЧВУ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ УССР)

Многолетние исследования Украинского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского показали, что в результате воздействия на чернозем ходовых систем МТА его важнейшие агрономические свойства ухудшаются, возрастает плотность сложения, твердость, заметно снижается общая пористость, воздухоемкость, водопроницаемость. При многократных проходах тракторов плотность сложения чернозема может превысить $1,3$ – $1,4$ г/см³ – верхний предел оптимального ее уплотнения для большинства сельскохозяйственных культур, содержание воздуха – опуститься ниже критического уровня – 15%, твердость – достигнуть 20 кгс/см² и выше, водопроницаемость – уменьшиться до 10–15 мм/ч.

При определении допустимых уровней нагрузки на почву мы использовали несколько различных критериев и методов.

Изменение водно-физических свойств почвы при действии нагрузки

Исследования проводили на специальной лабораторной установке, имитирующей статическую нагрузку на образец почвы в широком интервале величин. Были получены данные об изменении плотности сложения, пористости, воздухоемкости, твердости, водопроницаемости, степени разрушения структуры в зависимости от нагрузки. Сопоставив исходные данные (для уплотненного образца) с теми же данными при разной нагрузке, можно определить максимально допустимую величину удельной нагрузки на почву. Последняя устанавливается на основании сравнения данных упомянутых свойств почв с известными агрономическими оценками их строения (Модина, Долгов, 1966)¹ исходя из предположения, что даже максимально уплотненная почва не должна иметь неудовлетворительных оценок плотности, пористости, а также связанных с ними других характеристик почвы. Иначе говоря, если удельное давление МТА будет ниже допустимой величины или равно ей, агрофизические показатели почвы после их прохода будут сохранены по крайней мере на удовлетворительном уровне.

Используя установку, мы определили искомую величину для исследованного чернозема. Оказалось, что удельное давление МТА на почву при влажности² 20% не должно превышать 1,0 кгс/см², при влажности 28% — 0,6 кгс/см². При таких нагрузках пахотный слой данной почвы способен сохранить удовлетворительные водно-воздушные свойства, при их превышении плотность сложения, пористость, содержание воздуха и водопроницаемость становятся неудовлетворительными (табл. 108).

Крошение уплотненной почвы

Хорошо известно, что уплотненная почва хуже крошится, чем уплотненная, причем с увеличением нагрузки последующее ее крошение рыхлительными рабочими органами сельскохозяйственных машин становится менее эффективным (Медведев и др., 1976). Основываясь на этой закономерности, мы провели лабораторные эксперименты, в которых исследованная почва вначале подвергалась уплотнению (в разъемном цилиндре объемом 222 см³) в интервале нагрузок 0,4–2,0 кгс/см², а затем крошению плоским деформатором, установленным в твердомер Ревякина. Последний закрепляется на специальном штативе. В собранной в поддоне штатива разрушенной почве определялось содержание комков различного размера. Было установлено, что почва относительно легко крошится, если удельное давление не превышает 0,8 кгс/см² (табл. 109). Следует заметить, что после 0,8 кгс/см² в крошении почвы наблюдается явный скачок — комковатость почвы (по выходу агрономически наиболее

¹ Согласно этим и ряду других многочисленных данных, в почве среднего и тяжелого механического состава агрофизические показатели не должны быть меньше 50% для общей пористости, 15% для воздухоемкости, 30–45 мм/ч для водопроницаемости (среднее за 6 ч наблюдений) и больше 1,25–1,30г/см³ для плотности сложения.

² Физическая спелость для исследованного чернозема составляет 20–24% от веса почвы.

Изменение физических свойств чернозема типичного тяжелосуглинистого в зависимости от удельной нагрузки и исходной влажности

Показатель	Нагрузка, кгс/см ²							
	0		0,4–0,6		0,8–1,0		1,2–1,4	
	Влажность, % от веса							
	28	20	28	20	28	20	28	20
Плотность сложения, г/см ³	1,12	1,17	1,28	1,22	1,36	1,27	1,45	1,33
Твердость, кгс/см ²	1,0	2,5	6,0	7,5	12,0	14,0	15,0	18,0
Общая пористость, %	56	54	50	52	46	50	43	48
Пористость аэрации, %	26	24	20	22	14	19	10	17
Водопроницаемость, мм/ч	50	58	40	43	15	38	5	30

Таблица 109

Прочностные характеристики и крошение почвы в зависимости от уплотнения

Исходное давление при формировании образцов, кгс/см ²	Плотность перед деформацией, г/см ³	Влажность в момент деформации, % от веса	Удельное сопротивление раздавливанию, кгс/см ²	Удельное усиление разрушения, кгс/см ³ **	Крошение образцов после деформации (размер структурных отделностей, мм, содержание, %)			
					>30	30–10	10–0,25	<0,25
0,4	0,99	15,3	0,10	0,001	0	0,6	96,9	2,5
0,8	1,05	15,6	0,20	0,002	0	9,5	88,8	1,4
1,2	1,09	15,4	0,83	0,009	9,8	39,0	49,9	2,3
1,6	1,14	14,7	1,54	0,017	20,3	25,8	52,2	1,7
2,0	1,17	12,8	2,21	0,025	18,9	19,1	59,2	2,8

*Отношение величины усилия во время разрушения монолита к рабочей площади деформатора.

**Отношение величины усилия во время разрушения монолита к его объему до начала разрушения.

ценной фракции 10–0,25 мм) становится существенно хуже, чем обычное крошение черноземной почвы – 60–70% указанной фракции.

Из приведенных данных следует, что прочностные характеристики, оцениваемые в данном случае по удельному сопротивлению, раздавливанию и удельному усилию разрушения образцов почвы заметно растут при увеличении давления их формирования, причем после 0,8 кгс/см² опять-таки ошутимо отмечается скачкообразный рост названных показателей.

Прирост уплотнения (Δ , г/см³) чернозема типичного тяжелосуглинистого
в слое 0–10 см в зависимости от действия нагрузки
при различной влажности почвы*

Влажность, %	Нагрузка, кгс/см ²					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
29	0,14	0,21	0,26	0,31	0,35	0,37
26	0,10	0,18	0,23	0,27	0,30	0,33
24	0,09	0,16	0,20	0,23	0,25	0,26
20	0,06	0,10	0,14	0,16	0,18	0,19
16	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15
12	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10

* Исходная плотность 1,1 г/см.

Изменение плотности, г/см³, чернозема типичного мощного
в зависимости от марки тракторов и числа проходов

Марка трактора	Число проходов	Глубина, см					
		0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
Без уплотнения (контроль)	0	1,15	1,17	1,18	1,23	1,18	1,15
Т-16М	1	1,27	1,31	1,30	—	—	—
	4	1,36	1,32	1,31	1,32	—	—
	7	1,40	1,36	1,35	—	—	—
Т-54В	10	1,45	1,39	1,32	1,39	1,33	—
	1	1,29	1,30	1,27	1,24	—	—
	4	1,37	1,39	1,35	—	—	—
Т-74	7	1,38	1,36	1,36	—	—	—
	10	1,40	1,35	1,40	1,32	1,28	1,23
	1	1,28	1,22	1,21	1,27	1,25	—
Т-150К	4	1,35	1,34	1,31	1,26	—	—
	7	1,42	1,35	1,35	1,24	—	—
	10	1,42	1,36	1,36	1,31	1,27	1,28
Т-74	1	1,22	1,21	1,21	1,17	—	—
	4	1,26	1,33	1,21	—	—	—
	7	1,33	1,32	1,28	—	—	—
Т-150К	10	1,38	1,37	—	—	1,26	—
	1	1,30	1,30	1,26	1,24	—	—
	4	1,35	1,35	1,28	1,26	—	—
Т-150К	7	1,36	1,37	1,34	1,27	1,26	1,29
	10	1,40	1,45	1,36	1,30	1,33	—

Глубина распространения уплотнения

При использовании этого критерия мы исходили из положения, что уплотнение свыше $1,2 \text{ г/см}^3$ не должно распространяться глубже 10 см (посевной слой) весной и глубже 25–28 см (пахотный слой) осенью. При этих условиях плотность сложения верхней части почвы не превышает предельно допустимой величины, равной $1,3 \text{ г/см}^3$. Исследования показали, что этим требованиям удовлетворяют ходовые системы МТА, которые оказывают на почву давление весной не более $0,5 \text{ кгс/см}^2$, осенью — не более $0,8 \text{ кгс/см}^2$. Последнее справедливо при обработке почвы с влажностью, равной физической спелости или несколько превышающей ее (24–29%). Для более сухой почвы (с влажностью ниже 20%) можно допустить проходы МТА по почве с удельной нагрузкой до $2,0 \text{ кгс/см}^2$ (табл. 110). При этом необходимо отметить, что речь идет об однократном проходе машин. При многократных нагрузках даже неэнергонасыщенные тракторы способны существенно уплотнить почву глубже 30 см (табл. 111).

Глубина колес

Образующаяся после прохода МТА по полю колея ухудшает качество посева и усиливает неравномерность заделки семян по глубине. Поэтому при использовании этого критерия следует исходить из существующих агротехнических правил, определяющих допустимую величину отклонения глубины заделки семян от средней как $\pm 1 \text{ см}$. Исходя из этого можно допустить глубину колеи не более чем 1–2 см.

Выполненные исследования показали, что величина допустимой нагрузки в этом случае должна находиться в интервале $0,3\text{--}1,2 \text{ кгс/см}^2$, причем ее верхний предел находится при влажности 20–22%, нижний — 26–28% от веса почвы (табл. 112).

Потенциал прочности почвы

Потенциал прочности почвы складывается в основном из сопротивлений разрыву и раздавливанию. При уплотнении и крошении почва вначале разрывается (на это расходуется весьма небольшая — не более 10–30% — часть потенциала прочности), затем наступает сдвиг и раздавливание. Наиболее грубое и энергетически емкое воздействие на почву происходит при раздавливании. При этом наблюдается глубокое разрушение внутрипочвенных сил связности, деформируется наиболее тонкая часть порового пространства, исчезают структурные связи в макро- и даже микроагрегатах почвы. После раздавливания в почве весьма затруднены процессы восстановления агрономически ценной структуры и пор. Интенсивно раздавленная почва склонна к образованию слитой бесструктурной массы, при крошении которой образуются плохо водо-, воздухо- и корнепроницаемые глыбы. Поэтому можно допускать воздействие на почву, направленное только на преодоление разрыва и сдвига. Этот показатель можно приравнять к уровню допустимой нагрузки на почву.

Из данных табл. 113 следует, что при влажности 20–26% от веса почвы и нормальной исходной плотности сложения ($1,10\text{--}1,30 \text{ г/см}^3$) уровень

Изменение глубины колен, мм, в зависимости от нормальной нагрузки и влажности почвы*

Нагрузка, кгс/см ²	Влажность, %				
	20-22	23-25	26-28	29-32	34-36
0,3	12	14	17	22	26
0,6	14	18	25	31	33
0,9	16	20	28	35	38
1,2	18	26	33	38	46

*Исходная плотность сложения 1,0 г/см³.

Потенциал прочности чернозема типичного в зависимости от влажности и плотности сложения

Плотность сложения, г/см ³	Влажность, %	Сопротивление почвы, кгс/см ²			Потенциал прочности, кгс/см ²	Уровень допустимого давления, кгс/см ²
		разрыву	сдвигу	раздавливанию		
1,10	28-30	0,040	0,180	0,280	0,500	0,22
1,20		0,087	0,360	0,522	0,936	0,45
1,30		0,150	0,480	0,675	1,305	0,63
1,10	24-26	0,090	0,360	0,434	0,884	0,45
1,20		0,127	0,390	0,567	1,084	0,52
1,30		0,186	0,490	0,750	1,428	0,68
1,10	18-20	0,170	0,390	0,415	0,975	0,56
1,20		0,232	0,410	0,580	1,222	0,64
1,30		0,347	0,530	0,857	1,733	0,88
1,10	12-14	0,527	0,770	0,890	2,187	1,30
1,20		0,768	1,020	1,110	2,898	1,79
1,30		0,984	1,280	1,380	3,644	2,26

допустимого давления изменяется в пределах 0,45-0,88 кгс/см². При повышении влажности он опускается до 0,22, при снижении влажности возрастает до 1,3-2,3 кгс/см².

Определение составляющих потенциала прочности в течение вегетации культур позволяет установить допустимый уровень воздействия МТА при выполнении междурядных рыхлений и, главное, наилучшим образом организовать уборочно-транспортные операции и исключить проходы по полю тех машин, удельное давление которых превышает суммарное сопротивление почвы разрыву и сдвигу.

Разуплотнение почвы

Способность почвы к восстановлению исходных параметров плотности сложения в процессе объемных изменений не должна нарушаться. Давно замечено, что умеренно уплотненная почва хорошо разуплотняется после нескольких циклов увлажнения—высушивания. Сильно уплотненная почва практически лишается такой обратимости. Уплотненный осенью исследованный нами чернозем способен разуплотниться до исходной величины к весне следующего года, если в процессе уплотнения не была достигнута плотность сложения, примерно равная $1,30 \text{ г/см}^3$. Если же исходное уплотнение составило $1,35\text{--}1,40 \text{ г/см}^3$, то зимне-весенний период практически не изменил эти показатели (табл. 114), а его последствие сказывается по крайней мере в течение 2 лет на величинах основных агрофизических свойств (табл. 115). Следовательно, еще раз подтверждается установленное выше положение, что черноземную почву ни в коем случае нельзя уплотнять выше $1,30 \text{ г/см}^3$.

Как было показано выше, в зависимости от влажности и исходной плотности сложения искомое удельное давление находится в интервале от 0,5 (для влажности 26—28%) до $1,0 \text{ кгс/см}^2$ (для влажности 20—24%), и лишь в почвах с влажностью, существенно более низкой, чем физическая спелость, допустимо некоторое превышение этой величины. Как показывают наши исследования (табл. 116), несоблюдение этого положения может привести к глубоким изменениям чернозема, в результате которых он станет еще более восприимчив к воздействию ходовых систем МТА.

Резюмируя изложенное, приведем полученные сводные данные о допустимых давлениях ходовых систем МТА на чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый в зависимости от исходных параметров плотности и влажности почвы (табл. 117). В таблице подчеркнута величина увлажнения, приблизительно соответствующая физической спелости.

Таблица 114

Изменение плотности сложения чернозема типичного, г/см^3 ,
за осенне-весенний период

Глубина, см	Период	Влаж- ность, % от веса	Конт- роль	1 проход		10 проходов	
				Т-74	МТЗ-52	Т-74	МТЗ-52
0—10	Осенний (7.X 1977 г.)	19,8	1,09	1,20	1,25	1,40	1,42
	Весенний (4.IV 1978 г.)	24,1	1,11	1,12	1,12	1,14	1,16
10—20	Осенний (7.X 1977 г.)	22,6	1,24	1,27	1,29	1,42	1,44
	Весенний (4.IV 1978 г.)	23,9	1,20	1,28	1,30	1,43	1,45
20—30	Осенний (7.X 1977 г.)	23,0	1,27	1,27	1,28	1,38	1,40
	Весенний (4.IV 1978 г.)	24,7	1,24	1,27	1,27	1,38	1,39

Агрофизические свойства верхнего слоя почвы чернозема
типичного мощного спустя 2 года
после приложения нагрузки

Число проходов Т-150К	Содержание структурных отдельностей, %			Скорость фильтрации,* мм/мин	Продолжительность полного размачивания почвенных образцов, сек
	>10 мм	10-0,25 мм	<0,25 мм		
0	9,7	86,7	3,6	360	105
1	11,2	84,5	4,3	240	174
4	13,3	84,0	2,7	120	195
7	20,7	76,3	3,0	48	270

*Фильтрация через почвенный образец толщиной 2 см и площадью поверхности 25 см².

Влияние интенсивности использования чернозема типичного мощного тяжелосуглинистого на его уплотняемость (Δ , г/см³)*

Глубина, см	Нагрузка 0,5 кгс/см ²			Нагрузка 1,0 кгс/см ²		
	I**	II	III	I	II	III
2-4	0,22	0,25	0,30	0,32	0,35	0,40
4-6	0,20	0,25	0,30	0,30	0,35	0,35
6-8	0,16	0,22	0,26	0,27	0,33	0,35
8-10	0,12	0,16	0,22	0,26	0,30	0,33
10-12	0,08	0,16	0,22	0,26	0,30	0,31
12-14	0,05	0,12	0,20	0,24	0,28	0,31
14-16	0,02	0,12	0,14	0,20	0,27	0,29
16-18	0,02	0,10	0,14	0,20	0,27	0,29
18-20	0	0,08	0,10	0,19	0,25	0,27
20-22	0	0,05	0,08	0,18	0,25	0,25
22-24	0	0,04	0,06	0,17	0,23	0,25
24-26	0	0,02	0,04	0,15	0,23	0,23
26-28	0	0	0,02	0,14	0,18	0,20
Среднее	0,07	0,12	0,16	0,24	0,28	0,30

*Влажность — 29 %. Плотность сложения — 1,0 г/см³.

**I — залежь; II — пашня; III — пашня из колеи Т-150К.

Плотность сложения, г/см ³ (числитель), твердость, кгс/см ² (знаменатель)				
0-10 см	10-20 см	20-30 см	30-40 см	40-50 см
$\frac{1,10}{4,5}$	$\frac{1,15}{6,0}$	$\frac{1,25}{18,0}$	$\frac{1,25}{20,0}$	$\frac{1,27}{19,0}$
$\frac{1,15}{5,0}$	$\frac{1,20}{8,0}$	$\frac{1,27}{20,0}$	$\frac{1,30}{24,0}$	$\frac{1,27}{19,0}$
$\frac{1,27}{6,0}$	$\frac{1,28}{10,0}$	$\frac{1,37}{24,0}$	$\frac{1,40}{27,0}$	$\frac{1,30}{26,0}$
$\frac{1,37}{10,0}$	$\frac{1,43}{22,0}$	$\frac{1,45}{29,0}$	$\frac{1,50}{30,0}$	$\frac{1,35}{30,0}$

Таблица 117

Допустимые давления ходовых систем тракторов, кгс/см², на чернозем типичный тяжелосуглинистый в зависимости от влажности и плотности сложения

Влажность, %	Плотность сложения, г/см ³			
	1,0	1,1	1,2	1,3
29	0,30	0,50	0,60	0,80
26	0,40	0,60	0,70	1,00
24	0,50	0,80	1,10	1,40
20	0,70	1,10	1,40	1,90
16	0,80	1,30	1,60	2,20
12	1,00	1,50	1,90	2,70

На основании предложенных шести критериев обоснованы допустимые уровни воздействия ходовых систем МТА на черноземную почву среднего и тяжелого механического состава. При влажности, равной или несколько ниже физической спелости почвы (16-24% от веса почвы), искомый параметр находится в пределах 0,8-1,2 кгс/см², в среднем 1,0 кгс/см². При влажности почвы, несколько превышающей физическую спелость (26-28% от веса почвы), допустимый уровень равен соответственно 0,3-0,6, т.е. около 0,45 кгс/см².

САМОРАЗУПЛОТНЕНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОЦЕССОВ НАБУХАНИЯ—УСАДКИ

В последнее время все большее значение приобретает проблема уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники на почву и борьбы с этим явлением (Бондарев, 1981). В этой связи изучение способности почв разного генезиса к разуплотнению и саморазуплотнению в природных условиях, степени проявления этой способности представляет определенный интерес как для выяснения возможности регулирования процессов саморазуплотнения, так и для учета его при расчетах допустимого давления МТА на почву.

Анализ результатов полевых опытов, выполненных на почвах в разных почвенно-климатических зонах страны, убедительно показывает, что степень уплотнения почвы МТА зависит от массы МТА и характера его движителей, времени и кратности их воздействия, а также от генетических особенностей почвы и ее исходного состояния — влажности и плотности в момент воздействия. Наиболее существенные изменения свойств почв наблюдаются до глубины 40–60 см.

При воздействии на влажную почву наиболее легких тракторов типа МТЗ-80 (82), ДТ-75 и относительно высокой степени уплотнения почва под влиянием естественных факторов восстанавливает свои свойства в течение вегетационного периода или на следующий год. При воздействии на влажную почву тяжелых колесных тракторов типа К-701, Т-150К или при многократных проходах легких тракторов и высоком уплотнении почвы ее свойства не восстанавливаются до оптимального уровня в течение нескольких лет.

Так, в специальных модельных опытах Почвенного института им. В.В. Докучаева на дерново-подзолистых почвах Московской области показано, что при уплотнении почвы МТА до $1,46\text{--}1,50\text{ г/см}^3$ (при плотности на контроле $1,30\text{--}1,35\text{ г/см}^3$) значительное уплотнение почвы сохраняется и на следующий год (Шептухов, 1979). Там же дерново-глеевая почва, уплотненная по следам автомобилей до $1,47\text{--}1,53\text{ г/см}^3$, в течение 3 лет была более плотной по сравнению с контролем (плотность $1,50$ и $1,30\text{ г/см}^3$ соответственно). Аналогичные результаты на дерново-подзолистых почвах получены в опытах ТСХА (Пупонин и др., 1984) и опытах НИИСХ (Саранин и др., 1984).

В опытах Почвенного института им. В.В. Докучаева на серых и темно-серых лесных почвах Тульской области показано, что они уплотняются и разуплотняются практически так же, как и дерново-подзолистые почвы. При уплотнении до $1,40\text{--}1,42\text{ г/см}^3$ (воздействие тракторов ДТ-74 и МТЗ-80) серые лесные почвы разуплотняются в течение вегетационного периода. Уплотнение серых лесных почв под воздействием трактора Т-150К до $1,40\text{--}1,60\text{ г/см}^3$ при плотности на контроле $1,20\text{--}1,30\text{ г/см}^3$ сохраняется на второй год (Бондарев и др., 1984).

По данным Почвенного института им. В.В. Докучаева (Кузнецова, 1978), типичные мощные тяжелосуглинистые черноземы Курской области, уплотненные в междурядьях по следу колес трактора "Беларусь" при одно-двукратном его проходе до $1,22\text{--}1,25\text{ г/см}^3$, разуплотняются в течение вегетационного периода до верхней границы оптимальной плот-

ности (1,17–1,18 г/см³). При многократных проходах этого трактора по одним и тем же междурядьям и повышении плотности почвы до 1,27–1,30 г/см³ почва разуплотняется только до 1,20–1,23 г/см³, т.е. остается выше верхней границы оптимальной плотности.

По данным УкрНИИПА им. Соколовского, на типичных тяжелосуглинистых черноземах лесостепи Украины способность к саморазуплотнению прослеживается только при уплотнении до 1,25 г/см³. При более высоком уплотнении она ослабевает (Медведев и др., 1981).

По данным опытов Украинской сельскохозяйственной академии, полного разуплотнения деградированных тяжелосуглинистых черноземов при уплотнении их до 1,45–1,64 г/см³ (после дву- и четырехкратных проходов трактора Т-150К при весенней обработке и плотности на контроле 1,17–1,23 г/см³) в течение вегетационного периода не наблюдалось (Гапоненко, 1981).

По данным опытов ВИМ, на обыкновенных черноземах в Краснодарском крае на вариантах с уплотнением до 1,35–1,40 г/см³ (трактор ДТ-75М) плотность почвы восстановилась до 1,24–1,26 г/см³ через год после прекращения ее уплотнения, а при уплотнении до 1,46–1,56 г/см³ (тракторы К-701) плотность почвы, несмотря на обработку, восстановилась только через 2 года (Русанов и др., 1981).

В опытах НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева в Воронежской области показано, что при уплотнении обыкновенных черноземов до 1,3 г/см³ (трактор К-701) саморазуплотнение под действием естественных факторов до верхней границы оптимальной плотности (1,08 г/см³) происходит медленно и затягивается на несколько лет. Полного разуплотнения не происходит даже при проведении вспашки и культиваций (Шипилов, 1983).

В числе основных причин саморазуплотнения почв авторы приведенных выше исследований обычно называют набухание и усадку в результате увлажнения и высыхания почвы, замерзание и оттаивание влажной почвы, рыхлящее действие корней сельскохозяйственных культур и др. По-видимому, наибольшее значение имеет первая причина, поскольку набухание и усадка почв — изменение объема почв при увлажнении и высыхании — явления, многократно повторяются в природе и связанные как с сезонными циклами увлажнения–высыхания (весна, лето, осень), так и с более частыми изменениями влажности, особенно в поверхностных слоях.

Явления набухания и усадки почв, факторы, определяющие эти процессы, в настоящее время достаточно хорошо изучены. Установлена зависимость набухания и усадки от механического и минералогического состава почв и грунтов, содержания органического вещества и его качества, состава поглощенных оснований и т.д. Связь же процессов набухания и усадки с саморазуплотнением почв изучена еще недостаточно полно.

По нашему мнению, увеличение объема почв при увлажнении в результате набухания еще не свидетельствует о процессе саморазуплотнения почв, так как при последующем высыхании и усадке почва может вернуться к исходному (до набухания) состоянию, уплотниться или разуплотниться. Иначе величина объемных изменений при набухании и усадке определяется соотношением этих процессов, а не каждым из них в отдельности.

Механизм процессов, происходящих в почвах тяжелого механического состава при увлажнении—высыхании, можно выразить следующим образом (Н — набухание, У — усадка):

$H > U$ — разуплотнение,

$H = U$ — динамическое равновесие,

$H < U$ — уплотнение.

Первый вариант наблюдается в почвах среднего и тяжелого механического состава, средне- и высокогумусированных, хорошо оструктуренных, с высоким содержанием поглощенного кальция. Третий вариант наблюдается при увлажнении—высыхании глинистых грунтов, содержащих большое количество минералов монтмориллонитовой группы, в солонцах, солонцеватых и слитых почвах, в которых при увлажнении и последующем высыхании, согласно существующим представлениям, происходит переориентация частиц, упорядочение их текстуры, отвечающее наиболее плотной упаковке. Аналогичное явление происходит и при очень рыхлом сложении нормальных почв, которые в результате увлажнения—высыхания приобретают более плотное сложение.

Для изучения закономерностей саморазуплотнения почв разного генезиса под влиянием процессов набухания и усадки был поставлен модельный опыт. Объектами исследования были пахотные горизонты пяти почв различного генезиса и свойств: дерново-подзолистая суглинистая слабоокультуренная (полевой участок) и дерново-подзолистая суглинистая высококультуренная (огородный участок) Московской области, серая лесная тяжелоуглинистая Тульской области, чернозем типичный мощный тяжелоуглинистый Курской области, чернозем южный легкоглинистый Ростовской области.

Для каждой почвы было задано 6—7 значений плотности, от 0,8—0,9 до 1,5—1,6 г/см³. Уплотнение почв до заданных значений проводилось в воздушно-сухом состоянии с помощью пресса. Наблюдения за саморазуплотнением почв проводились в течение четырех-пяти циклов увлажнения—высыхания, практически до прекращения значимых изменений плотности.

Поскольку целью исследований является изучение саморазуплотнения почв под влиянием набухания—усадки, за основной показатель, отражающий этот процесс, была принята плотность почвы. Изменения плотности рассчитывались по изменению высоты образца при максимальном его набухании в результате капиллярного увлажнения и при максимальной усадке после прекращения подачи воды и высушивания его до воздушно-сухого состояния. Для оценки высоты образца при набухании и усадке и большего приближения опыта к естественным условиям использовался модифицированный прибор Васильева (ПНГ)¹. Высота кольца, в которое насыпается почва, в приборе ПНГ была увеличена до 5 см (вместо 1 см в стандартной установке), что позволило увеличить навеску почвы до 120 г, причем составлялась она в соответствии с содержанием структурных отдельностей разного размера в исходном образце почвы после его предварительного просеивания через сито с диаметром отверстий 10 мм (для избежания попадания крупных глыб). В результате каждый образец имел структурный сос-

¹ См. работу А.Ф. Вадюниной, З.А. Корчагиной (1973).

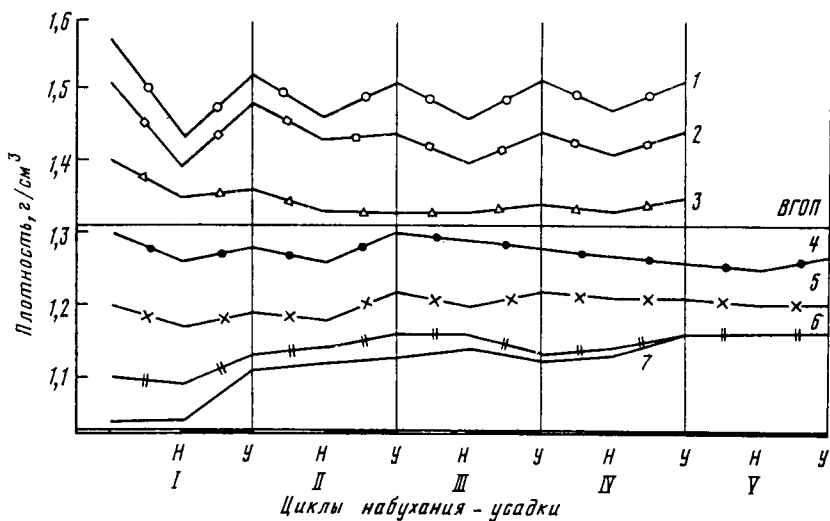


Рис. 26. Изменение плотности дерново-подзолистой суглинистой слабокультуренной почвы Московской области в процессе набухания-усадки

Условные обозначения для рис. 26–30, ВГОП – верхняя граница оптимальной плотности. 1 – кривая изменения плотности почвы, уплотненной изначально (в воздушно-сухом состоянии) до $1,6 \text{ г/см}^3$; 2 – до $1,5 \text{ г/см}^3$; 3 – до $1,4 \text{ г/см}^3$; 4 – до $1,3 \text{ г/см}^3$; 5 – до $1,2 \text{ г/см}^3$; 6 – до $1,1 \text{ г/см}^3$; 7 – до $1,0 \text{ г/см}^3$; 8 – до $0,8 \text{ г/см}^3$; 9 – расчетная кривая. Н – набухание, У – усадка

тав, близкий к таковому в естественном состоянии, что позволило учесть роль структуры в процессах набухания-усадки и саморазуплотнения почв.

На рис. 26–30 представлены изменения плотности почв в течение четырех-пяти циклов увлажнения-высыхания. По горизонтали отложены циклы набухания-усадки, связанные с увлажнением и высыханием почв, по вертикали – значения плотностей. Линией, параллельной горизонтали, отмечена верхняя граница оптимальной плотности этих почв, рассчитанная по формуле С.И. Долгова, И.В. Кузнецовой, С.А. Модиной (1970). Согласно этой формуле, верхняя граница оптимальной плотности соответствует такой ее величине, при которой содержание воздуха в почве составляет не менее 15% при влажности, равной наименьшей влагоемкости.

Приведенные материалы показывают, что по возрастанию способности к саморазуплотнению почвы располагаются в следующем порядке: дерново-подзолистая слабокультуренная, серая лесная, чернозем типичный, дерново-подзолистая высококультуренная, чернозем южный. Так, изменение плотности в этих почвах при уплотнении до $1,5 \text{ г/см}^3$ после четырех циклов набухания-усадки (табл. 118) составило $-0,06$; $-0,10$; $-0,20$; $-0,27$; $-0,33 \text{ г/см}^3$. Этот порядок сохраняется и при других исходных плотностях.

Как видно из данных табл. 119–120, в которых представлены некоторые свойства исследуемых почв, способность их к саморазуплотнению при одинаковой исходной плотности определяется генетическими особенностями. Среди них – механический и минералогический состав, содержание и качество органического вещества, сумма и состав поглощенных оснований и др. Кроме того, прослеживается четко выраженная связь со структурным

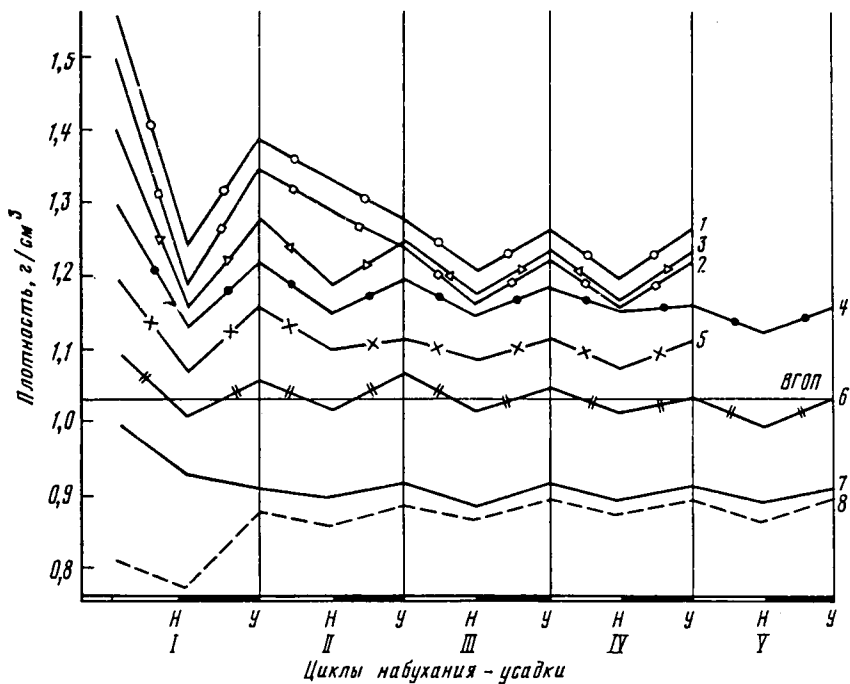


Рис. 27. Изменение плотности дерново-подзолистой суглинистой высококультурной почвы Московской области в процессе набухания-усадки.
Усл. обозначения см. на рис. 26

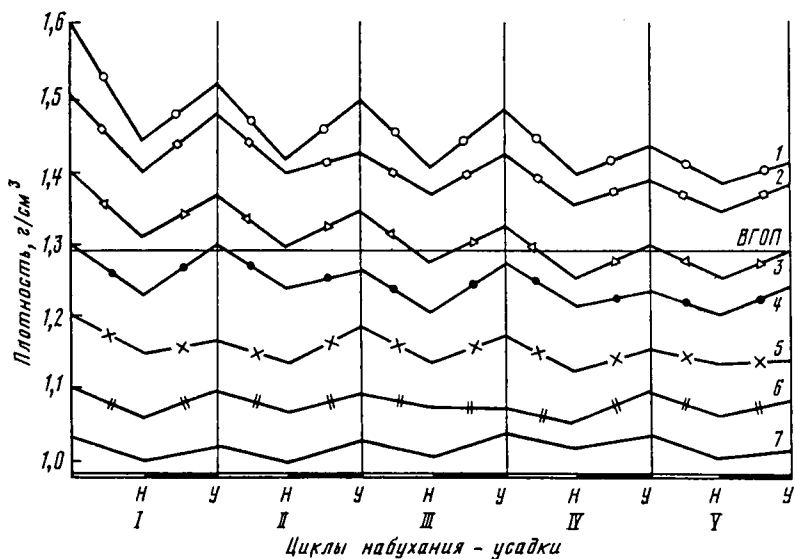


Рис. 28. Изменение плотности серой лесной тяжелосуглинистой почвы Тульской области в процессе набухания-усадки.
Усл. обозначения см. на рис. 26

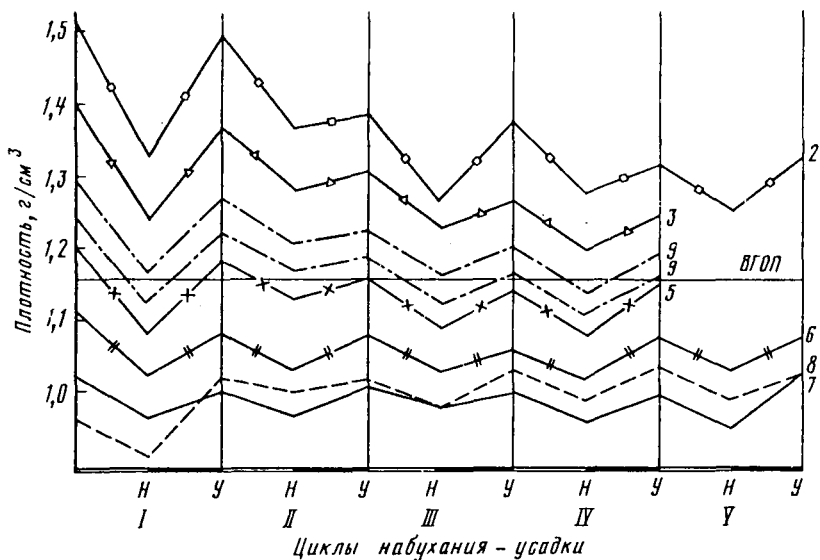


Рис. 29. Изменение плотности чернозема типичного мощного тяжелосуглинистого Курской области в процессе набухания-усадки
Усл. обозначения см. на рис. 25

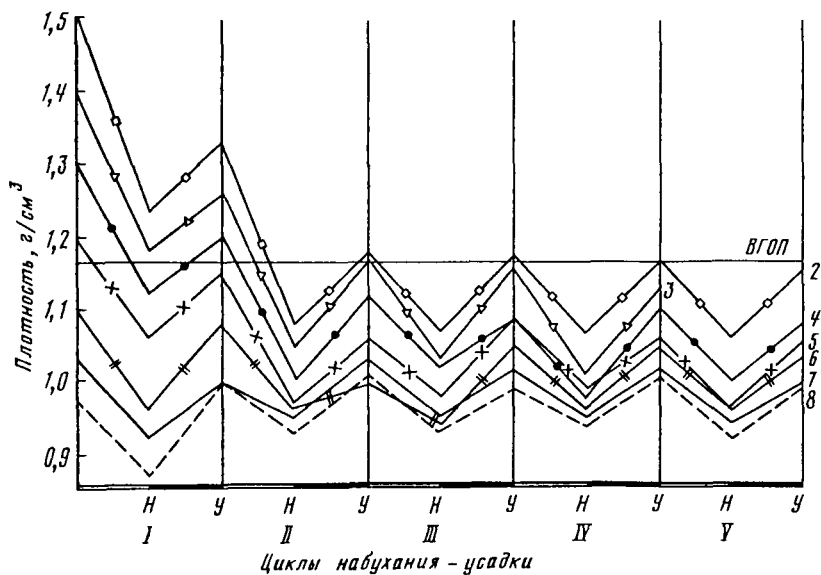


Рис. 30. Изменение плотности чернозема южного легкогоглинистого Ростовской области в процессе набухания-усадки
Усл. обозначения см. на рис. 26

Изменение плотности после 4–5 циклов набухания–усадки, г/см³

Исходная плотность почвы, г/см ³	$\Delta d = d_0 - d_{IV}$				
	Дерново-подзолистая слабокультуренная	Дерново-подзолистая высококультуренная	Серая лесная	Чернозем типичный	Чернозем южный
1,60	-0,06	-0,30	-0,16	-	-
1,50	-0,06	-0,27	-0,10	-0,20	-0,33
1,40	-0,05	-0,16	-0,07	-0,15	-0,27
1,30	-0,03	-0,13	-0,02	-0,08	-0,20
1,20	+0,01	-0,08	-0,03	-0,05	-0,14
1,10	+0,06	-0,06	+0,03	-0,03	-0,05
1,00	+0,12	-0,08	+0,04	-0,02	-0,02
0,90	-	-	-	+0,08	+0,03
0,80	-	+0,09	-	-	-

Примечание. Δd – изменение плотности почвы, г/см³; d_0 – исходная плотность воздушно-сухой почвы, г/см³; d_{IV} – плотность воздушно-сухой почвы после четырех циклов набухания–усадки, г/см³.

Таблица 119

Агрохимические свойства почв в модельном опыте

Почва	Гумус, %	рН солевой	Гидролитическая кислотность	Поглощенные основания		
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма
мг-экв/100 г почвы						
Дерново-подзолистая слабокультуренная	1,38	5,7	2,5	5,9	2,4	8,3
Дерново-подзолистая высококультуренная	7,85	6,4	2,3	21,7	4,0	25,7
Серая лесная	2,60	6,7	-	14,9	1,4	16,3
Чернозем типичный	5,53	5,1	4,8	26,9	2,5	29,4
Чернозем южный	5,19	7,1	0,0	38,4	4,6	43,0

составом почв: механической прочностью и водопрочностью структурных отделностей.

Так, дерново-подзолистые суглинистые слабокультуренные почвы, типичные для южной части таежной зоны, характеризуются наиболее низкой среди исследуемых почв способностью к саморазуплотнению в результате набухания–усадки. Согласно имеющимся в настоящее время представлениям, это связано с невысоким содержанием в них илистой фракции (10%) и преобладанием (до 70%) в ее составе ненабухающих

минералов — каолинита, слюд и гидрослюд — при относительно низком содержании высоконабухающих минералов монтмориллонитовой группы (Градусов, 1980); низким (1,4%) содержанием гумуса и его гуматно-фульватным составом (отношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.} = 0,54$); невысокой суммой обменных оснований (8–12 мг-экв/100 г почвы), в составе которых обменный Ca^{2+} составляет всего 60%. Перечисленные свойства обуславливают низкую механическую прочность структуры этих почв и их невысокую водопрочность (20–26% водопрочных агрегатов более 0,25 мм).

В отличие от дерново-подзолистых слабокультуренных почв высококультуренные почвы характеризуются высокой способностью к саморазуплотнению в результате набухания — усадки. При одинаковом механическом и, возможно, минералогическом составе со слабокультуренными почвами они отличаются высоким содержанием органического вещества (7,8%) и его фульватно-гуматным составом (отношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.} = 1,19$). Кроме того, в составе органических веществ дерново-подзолистых высококультуренных почв значительно возрастает (до 67% против 50%) доля негидролизующего остатка (гумина), в состав которого, по-видимому, кроме гумусовых кислот, прочно связанных с минеральной частью, входят и растительные остатки разной степени гумификации, повышающие гидрофильность органического вещества и способность почв к набуханию и являющиеся источником образования "молодого" гумуса с хорошими оструктуривающими свойствами. Сумма обменных оснований этих почв возрастает до 26 мг-экв на 100 г почвы, а доля обменного Ca^{2+} — до 80%. Содержание водопрочных агрегатов увеличивается до 66%.

Способность к саморазуплотнению серых лесных почв несколько выше, чем дерново-подзолистых слабокультуренных почв. Вероятно, это связано с тем, что они отличаются более тяжелым механическим составом, более высоким содержанием минералов монтмориллонитовой группы (35%) и гидрослюд (50%), а также повышенным содержанием гумуса (2,5–2,6%). Содержание водопрочных агрегатов $> 0,25$ мм в них составляет около 20–25%.

Чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый характеризуется повышенной способностью к саморазуплотнению в результате процессов набухания — усадки. Эти качества типичного чернозема обусловлены в первую очередь высоким содержанием илистой фракции и составом входящих в нее минералов. 50% из них составляют минералы монтмориллонитовой группы, 40% — слюды и гидрослюды, а минералы каолиновой группы — всего около 10% (Чижикова, 1974). Содержание органического вещества составляет 5,5%, тип гумуса — гуматный. Сумма поглощенных оснований ~ 30 мг-экв на 100 г почвы, 90% приходится на поглощенный Ca^{2+} . Содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм достигает 67% при высокой механической прочности структурных отдельностей.

Среди исследуемых почв южный легкоголинистый чернозем отличается максимальной способностью к разуплотнению в результате набухания — усадки. Южные черноземы содержат одинаковое с типичным черноземом количество органического вещества (5,2%). Тип гумуса — фульватно-гуматный ($C_{г.к.} : C_{ф.к.} = 1,64$).

Южные черноземы характеризуются наиболее тяжелым среди исследуемых почв механическим составом (легкая глина) и наиболее высоким со-

Физические свойства почв в модельном опыте

Почва	Содержание частиц, %		Плотность твердой фазы, г/см ³	Содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм, %
	< 0,001 мм	< 0,01 мм		
Дерново-подзолистая слабоокультуренная	10,0	38,8	2,65	26
Дерново-подзолистая высокоокультуренная	9,9	37,5	2,51	66
Серая лесная	14,0	44,9	2,64	22
Чернозем типичный	24,9	52,4	2,63	67
Чернозем южный	32,3	68,3	2,64	61

* Определение набухания выполнено на ПНГ стандартным методом (плотность образца 1,25 г/см³, общая порозность 50–52%).

держанием минералов монтмориллонитовой группы (более 55%). Содержание минералов каолининовой группы – наиболее низкое, около 5% (Чижикова, 1974). Сумма поглощенных оснований составляет в них 43 мг-экв на 100 г почвы, на долю поглощенного Ca²⁺ приходится почти 90%. В состав обменных оснований входит Na⁺, однако доля его невелика – всего 0,13 мг-экв. Структура южных черноземов обладает наибольшей механической прочностью и высокой водопрочностью (61% водопрочных агрегатов более 0,25 мм).

На основании изучения свойств исследуемых почв мы попытались дать первый ориентировочный уровень количественного выражения факторов, обуславливающих высокую способность почв к саморазуплотнению в процессе набухания–усадки. По нашему мнению, это будут: механический состав – тяжелый суглинок и выше (содержание илистой фракции 20–35%); в минералогическом составе илистой фракции минералы монтмориллонитовой группы должны составлять не менее 50%, минералы каолининовой группы – 5–10%, слюды и гидрослюды – 40–50%; содержание органического вещества более 4%, тип гумуса – фульватно-гуматный или гуматный; сумма обменных оснований не менее 20–25 мг-экв на 100 г почвы, с преобладанием в их составе (до 80–90%) поглощенного Ca²⁺. При более легком механическом составе или при высоком содержании минералов каолининовой группы (дерново-подзолистые почвы) высокая способность почв к саморазуплотнению, по-видимому, образуется при повышении содержания органического вещества до 4%, с увеличением в нем доли "молодого", вновь образованного почвенного гумуса с высоким оструктуривающим эффектом и возрастанием емкости поглощения до 20–25 мг-экв на 100 г почвы, при 80–90% поглощенного Ca²⁺ в их составе.

Полученные в опыте данные позволили не только выявить зависимость саморазуплотнения от генетических особенностей почв, но и установить общие закономерности саморазуплотнения почв с разной исходной плотностью, происходящие под влиянием набухания и усадки почв (см. рис. 26–31).

Механическая прочность агрегатов, кг/см ²	Верхняя граница оптимальной плотности, г/см ³	НВ, %	МГ, %	Максимальное набухание (МН), %	Влажность при МН, %
0,70	1,31	27	4,47	4,4	44,7
—	1,04	40	8,54	21,8	72,3
—	1,29	28	6,25	6,7	52,3
0,83	1,16	35	10,05	17,1	57,7
0,92	1,17	35	15,15	27,7	68,1

Почвы с разными исходными плотностями в результате процессов набухания—усадки, происходящих при их увлажнении и высыхании, стремятся к достижению некоторого равновесного состояния. При этом переуплотненные почвы разуплотняются, а рыхлые — уплотняются. Степень выраженности этих процессов для разных почв разная и определяется их свойствами и исходным физическим состоянием, в условиях нашего опыта — исходной плотностью почв.

Наибольшее саморазуплотнение почв в результате набухания—усадки наблюдается при высоких исходных плотностях почвы. Это, как известно, связано с тем, что набухание и усадка определяются свойствами гидрофильных коллоидов, содержание которых в единице объема увеличивается с увеличением плотности. Кроме того, эта закономерность связана с особенностями строения порового пространства образца при разной его плотности (Кузнецова, 1984). При невысоких плотностях сложения увеличение объема твердой фазы почвы при набухании идет в значительной мере за счет объема крупных пор, без существенного увеличения внешнего объема образца; при высоких плотностях и снижении количества крупных пор — в основном за счет приращения его внешнего объема.

Максимальное саморазуплотнение уплотненных почв, как правило, происходит после первого цикла. В последующих циклах (в нашем случае втором—пятом) величина набухания—усадки и процесс саморазуплотнения снижаются. Так, в дерново-подзолистой слабокультуренной почве заметное разуплотнение при высоких плотностях наблюдается в первом-втором циклах, в дальнейших циклах оно практически не проявляется. В южном черноземе максимальное разуплотнение происходит в первых двух циклах, и хотя способность к саморазуплотнению сохраняется в последующих циклах, происходит оно на более низком уровне.

При рыхлом сложении уплотнение почв до равновесного состояния происходит также в течение первого цикла. При последующих циклах устанавливается динамическое равновесие. Это объясняется деформацией порового

пространства почв в процессе увлажнения—высыхания (Грачев, Корнблум, 1982).

Для каждой почвы выделяются четыре интервала плотностей:

I интервал высоких значений плотности, соответствующих переуплотненному состоянию почвы, при котором наблюдается максимальное саморазуплотнение для данной почвы, но до оптимальных значений она не разуплотняется ($H > U$).

II интервал плотностей соответствует уплотненному состоянию почвы, при котором в результате набухания—усадки почва разуплотняется до верхней границы оптимальной плотности или немного ниже. Верхняя граница этого интервала соответствует, по нашему мнению, некоторому критическому порогу уплотнения и превышает верхнюю границу оптимальной плотности ($H > U$).

III интервал соответствует оптимальной плотности. В этом случае при увлажнении—высыхании в почве наблюдаются пульсирующие изменения объема, практически одинаковые при набухании и усадке, в результате чего плотность почвы остается постоянной ($H = U$).

IV интервал плотностей соответствует рыхлому сложению почвы, при котором она в результате набухания—усадки уплотняется и приходит к оптимальному и устойчивому состоянию ($H < U$).

Результаты наших лабораторных опытов показывают, что для каждого типа почв существует критический порог уплотнения, при превышении которого способность почв к самовосстановлению свойств до оптимальных значений ослабевает или утрачивается. Полученные в полевых опытах материалы подтверждают это положение. По-видимому, это связано с тем, что при уплотнении почв выше определенной плотности (выше критического порога уплотнения) происходит разрушение и изменение структурных прочностных связей макро- и в меньшей степени микроагрегатов. Степень разрушения этих связей зависит от величины нагрузки, времени и кратности ее приложения и прочности самих структурных связей, т.е. прочности микро- и макроагрегатов.

При уплотнении ниже критического порога плотности, в том числе в интервалах оптимальной плотности, структурные связи, по-видимому, разрушаются частично или остаются без изменения. При увлажнении и набухании почв, а затем высыхании и усадке структурные связи полностью или частично восстанавливаются. Способность их к восстановлению определяется степенью разрушения, а также свойствами почв.

Это положение хорошо подтверждается данными по характеристике структурного состава почв, обладающих высокой способностью к разуплотнению: в типичном и южном черноземах, дерново-подзолистой высокоокультуренной почве содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм достигает 60% при высокой механической прочности структурных отдельных.

По нашим данным, для большинства почв — дерново-подзолистых, серых лесных, типичных черноземов суглинистого и тяжелосуглинистого механического состава — величина критического порога уплотнения превышает верхнюю границу оптимальной плотности всего на 0,05—0,10 г/см³. Исключение представляет южный легкоглинистый чернозем (Ростовская область), в котором при уплотнении выше верхней границы оптимальной

плотности на $0,33 \text{ г/см}^3$ почва саморазуплотняется до оптимальных значений. По-видимому, это связано с особенностями механического и минералогического состава этой почвы. Однако для подтверждения этого вывода необходимы дополнительные исследования.

Критический порог уплотнения, по данным модельного опыта, составляет: $1,4 \text{ г/см}^3$ для дерново-подзолистых и серых лесных почв; $1,1$ для дерново-подзолистых высокоокультуренных почв (почвы огородных участков); $1,25$ для типичных черноземов и $1,5 \text{ г/см}^3$ — для южных легкоглинистых черноземов. Эти величины, полученные в модельном опыте, хорошо согласуются с приведенными данными полевых исследований.

По нашему мнению, принцип описанного выше модельного опыта может быть использован для ориентировочного прогноза саморазуплотнения почв в процессах увлажнения—высыхания. С этой целью для каждого исследованного подобным образом типа почв следует построить график (рис. 31). На горизонтальной оси откладываются интервалы заданной в опыте исходной плотности, на вертикальной — плотности этой почвы, найденной в модельном опыте после разуплотнения образца в результате нескольких циклов набухания—усадки, число которых определяется способностью почв к саморазуплотнению. Такой график позволяет определить плотность почвы, до которой она саморазуплотнится в процессе набухания—усадки.

Для оценки полученных плотностей на графике откладываются значения верхней границы оптимальной плотности (или ее интервалы), рассчитанные по формуле С.И. Долгова, И.В. Кузнецовой, С.А. Модино (1970). Например, переуплотненное состояние дерново-подзолистой слабоокультуренной почвы и типичного чернозема составляет соответственно $1,5$ и $1,3 \text{ г/см}^3$. В результате четырех-пяти циклов набухания—усадки дерново-подзолистая почва саморазуплотнится до $1,45 \text{ г/см}^3$, что значительно превышает ее оптимальную плотность, а типичный чернозем саморазуплотнится до $1,20 \text{ г/см}^3$, что соответствует верхней границе его оптимальной плотности.

Аналогичным способом можно построить серию графиков, на которых на вертикальной оси откладываются плотности после каждого из четырех-пяти циклов увлажнения—высыхания. Это позволяет рассчитать число циклов, в течение которых почва сохраняет способность саморазуплотняться, т.е. длительность периода саморазуплотнения.

Таким образом, результаты модельного опыта по изучению саморазуплотнения почв под влиянием процессов набухания—усадки позволили установить следующее:

1. Величина объемных изменений почв при набухании—усадке определяется соотношением этих процессов и зависит от генетических особенностей почв и их исходной плотности. Саморазуплотнение почв происходит, когда их набухание при увлажнении превышает усадку при высыхании.

2. Саморазуплотнение почв зависит от факторов, определяющих процессы набухания и усадки: механического и минералогического состава, содержания и качества органического вещества, суммы и состава обменных оснований, в также от исходной плотности. Влияние этих факторов проявляется через создание прочных структурных связей в микро- и макроагрегатах почв.

3. При одинаковой плотности способность почв к саморазуплотнению

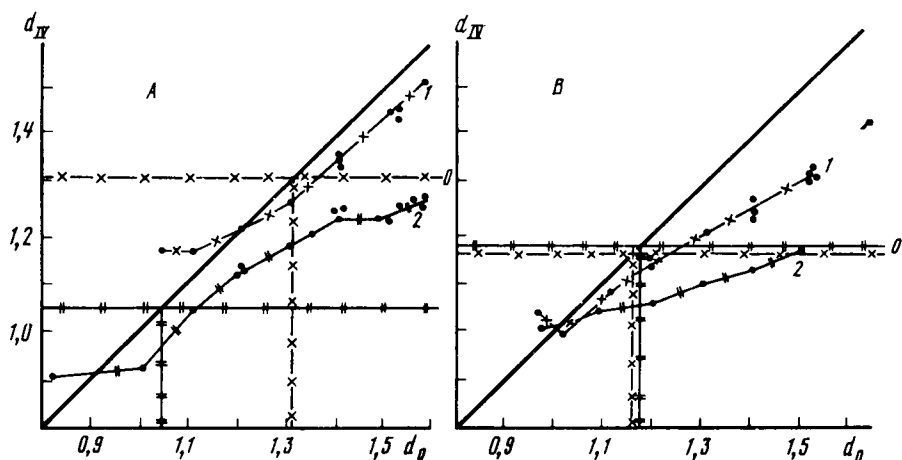
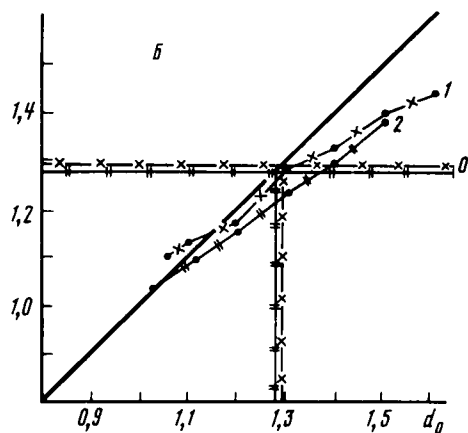


Рис. 31. Изменение плотности почвы после четырех циклов набухания—усадки

d_0 — исходная плотность воздушно-сухой почвы, г/см³; d_{IV} — плотность воздушно-сухой почвы после четырех циклов набухания—усадки, г/см³; O — верхняя граница оптимальной плотности. А — дерново-подзолистая суглинистая Московской области: 1 — слабокультуренная почва, 2 — высококультуренная почва; Б — серая лесная тяжелосуглинистая почва Тульской области: 1 — опыт 1, 2 — опыт 2; В — черноземы: 1 — типичный мощный тяжелосуглинистый Курской области, 2 — южный легкоглинистый Ростовской области



возрастает в ряду: дерново-подзолистые суглинистые слабокультуренные почвы—серые лесные тяжелосуглинистые—типичные мощные тяжелосуглинистые черноземы—южные легкоглинистые черноземы. Способность дерново-подзолистых почв к саморазуплотнению увеличивается при их окультуривании.

На основании проведенных исследований уточнены значения критического порога уплотнения изученных почв; предложен принцип метода ориентировочного прогнозирования саморазуплотнения почв в процессах набухания—усадки и расчета необходимого для этого числа циклов.

МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ ПОЧВ К УПЛОТНЯЮЩЕМУ ДЕЙСТВИЮ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Уплотнение почв под действием машинно-тракторных агрегатов (МТА) зависит от многих факторов. Мы полагаем возможным достаточно корректно оценить предрасположенность почв к уплотнению на основании их

Легенда картосхемы предрасположенности пахотных почв
Украинской ССР к уплотнению МТА

Степень предрасположенности пашни к уплотнению	Оценочный балл	Механический состав	Влажность почв при обработке, доли от влажности физической спелости
Очень слабая	1	Песчаный и глинисто-песчаный	0,6–0,7
Слабая	2	Супесчаный	0,7–0,8
Средняя	3	Легкосуглинистый	0,8–0,9
Высокая	4	Среднесуглинистый	0,9–1,0
Очень высокая	5	Тяжелосуглинистый и легкоглинистый	>1,0

механического состава и увлажнения, которые определяют прочностные параметры и тем самым потенциальную устойчивость почв к деформации.

Рассмотрим картографический вариант такого прогноза на примере земледельческой территории УССР. Вначале приведем легенду картосхемы предрасположенности почв к уплотнению (табл. 121).

В ней факторы — механический состав и влажность в момент обработки — условно ранжированы по степени предрасположенности к уплотнению на пять классов, каждый из которых обозначен баллом от 1 до 5. Такое разделение проведено на основании хорошо известного положения о том, что более всего подвержены уплотнению влажные почвы тяжелого механического состава и гораздо меньше уплотняются сухие легкие почвы.

Составим картосхему механического состава почв республики, для чего воспользуемся картой "Почвы Украинской ССР". М. 1:750 000. При сопоставлении этой картосхемы с данными влажности почв в момент основной и предпосевной обработок (Медведев и др., 1981) получим для каждого выдела по механическому составу набор оценочных баллов. Объединение выделов с близкими баллами произведено в соответствии с рекомендуемым в таблице ранжированием.

Наименьшей предрасположенностью к уплотнению МТА обладают почвы северной части республики (Полесье и северная Лесостепь, рис. 32).

Почвы западных районов наиболее уплотнены в период основной и предпосевной обработки. Степень предрасположенности к уплотнению почв на остальной территории характеризуется как высокая.

Приведенная картосхема неоспоримо доказывает, насколько важно учитывать предрасположенность почв к уплотнению как на стадии конструирования (здесь особенно важно иметь облегченные варианты МТА при посеве), так и на стадии районирования техники. Недопустимо направлять технику с повышенным удельным давлением в районы, где низка потенциальная устойчивость почв к уплотнению. Не менее важно учитывать

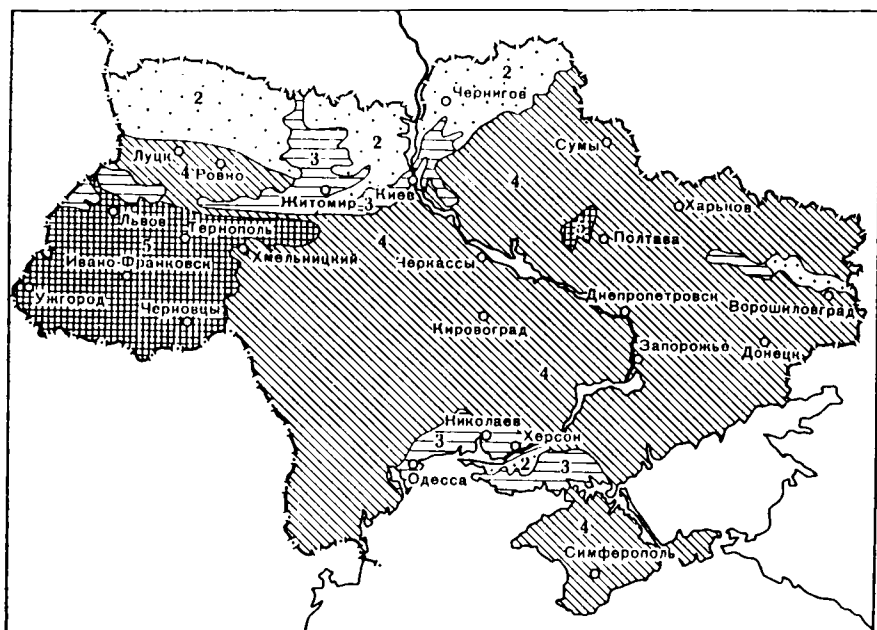


Рис. 32. Картограмма предрасположенности почв УССР к уплотнению МТА
 Степень предрасположенности пашни к уплотнению (оценочный балл): 2 – слабая, 3 – средняя, 4 – высокая, 5 – очень высокая

изложенный нами аспект при эксплуатации МТА. Энергонасыщенные технологии механизированных работ должны быть минимизированы прежде всего в районах, где почвы имеют повышенную предрасположенность к уплотнению.

Конечно, описанная методика позволяет прогнозировать уплотнение почв лишь в самом общем виде, ибо она не учитывает целый ряд факторов (конструктивные особенности ходовых систем машин, их вес, удельное давление, технологии механизированных работ, с одной стороны, оструктуренность почв, их гумусированность, минералогический состав – с другой), в той или иной мере определяющих конечный результат взаимодействия МТА с почвой. Тем не менее, имея оценку потенциальной устойчивости почв в виде предлагаемой нами картограммы и учитывая другие перечисленные факторы, можно получить достаточно точную оценку уплотнения почвы в реальных условиях производства в любом регионе.

Рассмотрим другой вариант прогноза уплотнения почв под действием МТА, основанный на формализации зависимости между удельным сопротивлением почвы при вспашке, числом проходов МТА и плотностью почвы.

Воздействие ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на почву, как известно, приводит к изменению ее основных физических показателей. Уже после однократного прохода трактора плотность такой почвы как чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый, возрастает, по нашим многочисленным экспериментальным данным, на 5–10%. При нарастании числа проходов плотность сложения почвы продолжает увели-

Рис. 33. Номограмма определения уплотнения почвы в зависимости от ее удельного сопротивления и числа проходов МТА

P — плотность почвы; K — удельное сопротивление почвы при вспашке; n — число проходов МТА

чиваться, и лишь после 4–7 проходов прирост плотности существенно снижается, за исключением энергонасыщенных тракторов класса 3 и 5Т, у которых она увеличивается и после 7 проходов (в среднем на 3–5%). Закономерность изменения плотности сложения почвы при возрастающем числе проходов тракторов примерно одинакова для всех их классов и выражается следующей зависимостью:

$$P = P_0 + 0,2n^{0,1}, \quad (1)$$

где P_0 — исходное значение плотности сложения почвы, $г/см^3$, n — число проходов тракторов.

С увеличением плотности сложения почвы увеличивается и ее удельное сопротивление. По данным Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения (Физико-механические свойства..., 1970), увеличение плотности сложения почвы сначала незначительно увеличивает ее удельное сопротивление, затем этот прирост резко возрастает. Закономерность изменения удельного сопротивления почвы при различных значениях ее плотности выражается следующей зависимостью:

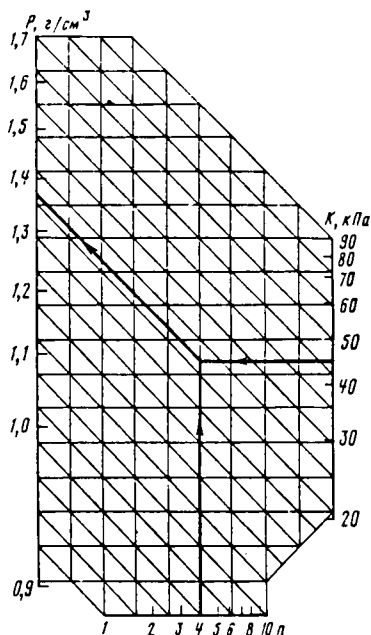
$$K = 0,15P. \quad (2)$$

Подставив уравнение (1) в (2), получим

$$K = 0,15P_0 + 0,2n^{0,1}. \quad (3)$$

По уравнению (3) нами построена специальная логарифмическая номограмма с 45-градусным ходом луча решения, которая позволяет определить конечное значение плотности сложения почвы по исходному значению ее удельного сопротивления и числу проходов МТА. Пределы значения шкал удельного сопротивления и числа проходов позволяют найти искомую величину уплотнения почвы для любых встречающихся на практике значений этих переменных. Ход решения осуществляется с помощью луча, пересекающегося с линиями, проведенными от соответствующих шкал. На рис. 33 показан пример нахождения уплотнения при исходном значении удельного сопротивления почвы $K = 45$ кПа и $n = 4$. Искомое значение равно $1,37$ $г/см^3$.

Практически в каждом хозяйстве должна быть известна величина удельного сопротивления почвы при основной обработке (этот показатель ис-



пользуется в нормировочных целях), а также соответствующие поправки на агрофон, влажность почвы, глубину обработки и др. Поэтому существует реальная перспектива прогнозирования уплотнения почв в зависимости от количества проходов сельскохозяйственной техники. Апробация предлагаемого нами второго варианта прогноза в производственных условиях показала значительные возможности его в ограничении отрицательного воздействия МТА на почву.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С МАШИННОЙ ДЕГРАДАЦИЕЙ ПОЧВЫ (на примере Белоруссии)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЫ

Одним из серьезных вопросов, с которым столкнулось земледелие, является так называемая машинная деградация почвы (МДП). МДП заключается в переуплотнении продуктивного слоя почвы ходовыми системами (ХС) сельхозмашин и рабочими органами орудий и в одновременном разрушении почвенного слоя. Плотность почвы вместо необходимых 1,0–1,2 г/см³ возрастает до 1,5–1,8 г/см³ (Носко, Бахтин, 1981), что в среднем на 20% снижает урожай зерновых (Рабочев и др., 1978), на 40% снижает эффективность удобрений (Трофимов, 1976) и на 18% повышает суммарный расход горючего (Результаты исследований..., 1983). Трактор типа МТЗ, работая по стандартной технологии, оставляет на каждом гектаре до 13-14 т пыли (Кузнецов, 1978). На пересушенных торфяниках потери почвы могут достигать 100-200 т/га и более (Скоропанов, Кришталь, 1974).

Явления МДП глобальны и наносят ущерб сельскому хозяйству всех высокоразвитых стран. По данным Института США и Канады, США ежегодно теряют 5 млрд т почвы, из обращения ежегодно выпадает более 1,2 млн га пашни. Стоимость только минеральных веществ в уносимой почве превышает 18 млрд долл. Несмотря на нарастающее внесение удобрений, из-за переуплотнения почвы вдвое упала урожайность кукурузы и вдвое снизились темпы роста урожайности других культур. Американские почвоведы прогнозируют в течении ближайшего десятилетия падение общей урожайности и нехватку плодородных земель, еще более серьезную, чем нехватка энергетических ресурсов. Угрожающий характер роста МДП в США объясняется прежде всего постоянным воздействием 4 млн колесных тракторов (доля гусеничных составляет лишь 3%).

В аналогичных масштабах МДП проявляется в Канаде. В СССР явления МДП выражены в целом несколько слабее, что объясняется в первую очередь значительно большей долей гусеничных тракторов (до 35% от общего парка), меньше перетирающих и несколько меньше переуплотняющих почву, чем колесные. Однако проблема МДП имеет серьезное значение и для нашего государства.

Воздействие тракторов, комбайнов, грузовых автомобилей и транспортных прицепов – общее число различных сельскохозяйственных ходовых

систем превышает 20 млн единиц (Кузнецов, 1974) – вызывает ежегодный унос 1,5 млрд т почвы (Рабочев, 1978), нами оцениваемой в 16 млрд руб., недобор до 50 млн т зерна и до 1,5 млн т хлопка и т.д. (Евтенко и др., 1982). По нашим оценкам, суммарный убыток от МДП превышает 23 млрд руб. в год.

Развитие и протекание МДП в БССР имеет свою специфику. Дерново-подзолистые почвы, бедные органическим веществом, особо чувствительны к переуплотнению, разрушению структуры и перетиранию. 30% пашни республики имеет среднюю степень переуплотнения, более 20% – сильную степень (относительно не переуплотнено лишь около 10%).

Убытки от МДП по БССР нами оцениваются в следующих размерах: ущерб от снижения урожайности на переуплотненных сельхозугодьях – 220–250 млн руб., от потери почвы (50–60 млн. т в год) и сопутствующего снижения плодородия – 500–600 млн руб. в год.

Действенным средством борьбы с МДП являются так называемые агрофильные (почвозащитные) ходовые системы (АХС). Применение сдвоенных, широкопрофильных и крупнодиаметровых шин не способно исключить чрезмерные напряжения в подпахотном слое. Пневмогусеничные движители (ПГД) требуют в 2–2,5 раза меньше затрат энергии на передвижение и на 45–50% легче металлогусеничных движителей. Однако совершенствование конструкции и внедрение ПГД наталкиваются на различные ведомственные, организационные и другие трудности.

Исключение причин переуплотнения и измельчения почвы важно для белорусских почв. Индустриальные технологии с движением ХС по постоянным колеям проблему МДП не снимают, так как операции предпосевного удобрения и внесения мелиорантов, а также все уборочные операции приходится вести по новым колеям. На постоянных колеях часто ускоряются явления МДП. Площади, занятые под постоянными колеями, в условиях БССР особенно нуждаются в глубоком разуплотнении (шелевании). Для повышения урожайности полей необходимо устранение причин МДП в полном объеме.

О КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ЗЕМЕЛЬНЫХ УГОДИЙ И МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ МАШИННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

Достижение высокой продуктивности сельскохозяйственных угодий при поддержании и приумножении плодородия почвы предполагает:

совершенствование хозяйственного механизма природопользования, землепользования, создание и применение действенных экономических и административно-правовых рычагов для рачительного использования земельных, лесных и водных ресурсов, сбережения и приумножения их потребительной ценности;

комплексную оценку земель, воды и сельскохозяйственного производства с учетом сохранения и воспроизводства плодородия угодий, обеспечения защиты от загрязнения;

широкое проведение относительно недорогих агролесомелиораций и культуртехнических работ, работ по рекультивации, разуплотнению переуплотненных земель, по восстановлению засоленных земель;

придание сельскохозяйственному производству природоохранной, ресурсо- и энергоэкономной направленности.

насыщение народного хозяйства, включая сельское хозяйство, почвозащитной техникой, ограничение использования в настоящее время на полях почвоуплотняющей техники (тяжелых колесных тракторов, прицепов, автомобилей).

Комплексная оценка мероприятий по предотвращению машинной деградации почвы и ликвидации ее последствий

Необходимо бережное отношение к земле как наиболее дорогому, уникальному и невозполнимому ресурсу. А для этого необходимо создать и применять действенные экономические рычаги рачительного использования и сбережения всех природных ресурсов, и особенно земли. Для этого требуется комплексная, всесторонняя оценка земли и ее использования.

Необходима комплексная социально-экономическая оценка земли, которая сложна и многогранна, так как она затрагивает не только интересы всех землепользователей, особенно таких, как сельское и лесное хозяйство, но и вопросы рационального водопотребления, охраны окружающей среды, поддержания экологического равновесия, рекультивации нарушенных земель.

Авторами данной работы был проведен анализ трех возможных стратегий проведения мероприятий по борьбе с МДП: 1) сохранение существующего положения и запланированного уровня почвозащитных затрат до 2000 г.; 2) осуществление новых противодеградационных мер с началом программы в 13-й пятилетке; 3) принятие срочных и кардинальных мер в полном объеме с 1986 г.

Критериями оценки при анализе являлись итоговая интегральная эффективность реализации мероприятий по борьбе с МДП с учетом степени сохранности почвенных ресурсов и прогнозируемая динамика урожайности и объемов сельскохозяйственной продукции. Оценка проводилась на основании разработанных методик (Гаврилов, 1982а, б), позволяющих всесторонне и комплексно определить все экологические, социальные и экономические последствия и последствия хозяйственной деятельности и проводимых почвозащитных и рекультивационных мероприятий. Анализ дал следующие результаты:

1 вариант стратегии. Какие-либо дополнительные действия вплоть до 1995 г. не предпринимаются и не планируются, явления МДП продолжают нарастать и расширяться. По нашим приближенным оценкам, за пределами 2000 г. может быть утрачено 20–25% ныне используемой пашни и 10–15% пастбищ. В связи с утратой сельскохозяйственных угодий и одновременным снижением урожайности на деградированных земельных угодьях к 2000 г. страна может недополучать ежегодно 18–20% от нынешнего уровня валового сбора урожая (Заславский, 1980; Кузнецов, 1981; Бурыкин, 1986). Согласно расчетам в БССР может быть утрачено 18–20% ныне используемой пашни и недополучено 15–18% от нынешнего валового сбора урожая.

II вариант стратегии. В 12-й пятилетке дополнительные работы не ведутся, что повлечет прогнозируемые потери угодий.

С 1991 г. начинается широкомасштабная разработка, конструкторско-технологическая подготовка и серийное производство агрофильных пневмогусеничных движителей для тракторов и тяжелых сельскохозяйственных машин, что позволит восстановить слабо- и среднеэродированные земли и сохранить 88–90% пашни и пастбищ. Годовой урожай к 2000 г. удастся поднять за счет повышения урожайности на незэродированных землях в результате вложений на уровне существующих. Все же суммарный объем сельскохозяйственной продукции за анализируемый период снизится на 8–10%.

По нашим оценкам и на основании литературных источников (Жилко, 1976), по БССР может быть утрачено 8–10% пашни и, вероятно, будет недополучено 6–8% нынешних валовых сборов.

III вариант стратегии. Немедленно начинается разработка агрофильных ходовых систем и широкое развертывание улучшения и рекультивации переуплотненных и эродированных почв. За 15 лет будет освоено около 18 млрд руб. Должно быть изготовлено 2,5 млн агрофильных движителей для гусеничных и колесных тракторов, 0,9 млн для комбайнов, 1,1 млн для грузовых автомобилей, 0,4 млн для удобрительных технических средств и 1,1 млн движителей для транспортных прицепов с широким использованием в конструкциях армированных пластмасс и легких металлов на общую сумму 2,65 млрд руб. Вся ныне используемая площадь пашен и пастбищ сохранится и заметно улучшится. За счет восстановления и повышения плодородия сельскохозяйственных угодий станет возможным дополнительно увеличить производство сельскохозяйственной продукции за тот же период примерно на 270–300 млрд руб. Уровень урожайности к 2000 г. в стране (и БССР) возрастет на 30–32%.

Реализовать программу по борьбе с МДП предлагается в три этапа.

I этап — максимальное ограничение отрицательных воздействий на почву без изменения конструкций существующих ХС, минимальное число проездов, совмещение операций, исключение работы колесных тракторов на переувлажненной почве, ограничение заезда грузовых машин на поля, одновременно создание опытных образцов сменных почвозащитных движителей для существующих машин.

II этап — создание и внедрение в производство почвозащитных движителей для всех видов серийной сельскохозяйственной техники; введение противозерозионной и контурной обработки полей.

III этап — полный перевод сельскохозяйственной техники на АХС и введение в полном объеме ограничений по давлению, удельной тяге и буксованию.

Кроме исключения главных причин МДП, необходимо также на значительных площадях разуплотнить подпахотные слои, восстановить нарушенные или ухудшенные земли.

Исключение энергозатрат, идущих на переуплотнение и последующее разуплотнение почвы, является серьезным резервом снижения расхода топлива при внедрении энергосберегающих почвозащитных технологий.

Как показывают расчеты, принятие неотложных мер вызовет в недале-

ком будущем резкое возрастание производственных расходов, потери земельных угодий, снижение их плодородия. Откладывание неотложных широких почвозащитных мероприятий на более отдаленный период также предполагает значительные и быстро растущие в перспективе потери земельных ресурсов, валовых сборов урожая, дополнительные производственные расходы. Отказ от проведения широких почвозащитных мероприятий грозит огромными невосполнимыми потерями земельных ресурсов не в столь отдаленной перспективе, сокращением валовых сборов сельскохозяйственной продукции, ухудшением условий труда и проживания в сельской местности.

Стратегия экстренного проведения всего комплекса почвозащитных мероприятий сулит наибольшие экономические выгоды и социальные результаты. Учет потерь в связи с утратой земельных ресурсов, снижением плодородия позволяет оценить влияние вредных техногенных воздействий на природный фактор и на конечные народнохозяйственные результаты.

Отправные методические положения по комплексной оценке эффективности почвощающих ходовых систем

При прогнозе эффективности необходимо учитывать интегральный эффект, в том числе экономический, социальный и экологический, комплексного использования почвощающих ходовых систем на всех энергетических, технологических и транспортных машинах, применяемых в сельском хозяйстве.

Учитываются факторы, влияющие на оценку эффективности: повышение урожайности сельскохозяйственных культур за счет применения почвозащитных систем, способствующих уменьшению уплотнения и эрозии почв, оптимизации биохимических процессов в ней; снижение ущерба, вызываемого ухудшением качества сельскохозяйственных угодий и прочих ресурсов природной среды или их уничтожением; улучшение условий труда механизаторов в результате уменьшения перетиранья почвы; увеличение годовой загрузки машин с почвощающими ходовыми системами за счет увеличения времени наработки и зоны их использования; снижение расхода топлива на обработку почвы в связи с уменьшением ее уплотнения; снижение расхода удобрений; уменьшение технологических потерь и повышение налоговых сборов сельскохозяйственной продукции; обеспечение за счет применения почвощающих ходовых систем более широкого комбинирования машин, совмещения технологических операций; повышение долговечности машин с почвощающими ходовыми системами благодаря снижению в них вибрационных и динамических нагрузок; ожидаемое изменение объемов производства сельскохозяйственной продукции; изменение производственных издержек в сельском хозяйстве; ожидаемые изменения площадей сельскохозяйственных угодий, обусловленные эрозией и дефляцией; ожидаемые социальные изменения.

При оценках используются данные о приросте урожайности за счет применения почвощающих ходовых систем.

Целями комплексной оценки мероприятий по землепользованию, по

предотвращению МДП являются: выбор наиболее целесообразной стратегии мер по борьбе с МДП и наиболее рациональных путей ее реализации, способствующих улучшению землепользования, увеличению биологической продуктивности земельных угодий, облегчающих реализацию системы государственно-правовых и хозяйственно-экономических гарантий соблюдения нормативных нагрузок землепользования, защиту от загрязнения, деградации земельных угодий, предотвращение кризисных степеней загрязнения среды при минимуме совокупных затрат единовременных вложений и эксплуатационных расходов.

Для землепользования, землезащитных мероприятий характерна многоцелевая направленность, поэтому при реализации разнообразных экономических, социальных, экологических и научно-технических мероприятий следует определять интегральные результаты, предварительно установив, какими затратами, ресурсами (или их долями) был обусловлен тот или иной эффект.

Общим критерием интегральной (социально-эколого-экономической) эффективности землепользования, землезащитных мероприятий является обеспечение стабильной на длительный период высокой биологической продуктивности земель (т.е. урожаев) при соблюдении санитарных и экологических стандартов и нормативов за вычетом потерь от деградации природных земельных ресурсов в сравнении с совокупными издержками или примененными ресурсами.

Практическое использование такого критерия предполагает преодоление значительных трудностей, связанных с приведением к единой метрической мере разнокачественных экологических, социальных и экономических результатов.

Для соизмерения разнокачественных совокупных результатов целесообразно использование интегрального критерия, представляющего собой сочетание нескольких критериев эффективности – производственно-экономической сферы, социальной, экологической:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{инт}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{пр}} \eta_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{экол}} \eta_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{соц}} + + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{сист}} \eta_{ij}; \quad (1)$$

при ограничивающих условиях (в случае $\mathcal{E}_{ij}^{\text{экол}} < 0,2$, $\mathcal{E}_{Hij}^{\text{экол}}$ и $\mathcal{E}_{ij}^{\text{соц}} < 0,2$, $\mathcal{E}_{Hij}^{\text{соц}}$ синергические результаты имеют значения $\mathcal{E}_{ij}^{\text{сист}}$ и $\mathcal{E}_{ij}^{\text{пр}}$ уменьшается на 30%.):

$$E_i^{\text{инт}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{пр}} \beta_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Pi_{ij} \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F_{ij} \gamma_{ij} \Delta_{ij}} \eta_{ij} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{экол}} \beta_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Pi_{ij} \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F_{ij} \gamma_{ij} \Delta_{ij}} \eta_{ij} + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{соц}} \beta_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Pi_{ij} \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F_{ij} \gamma_{ij} \Delta_{ij}} \eta_{ij} \\
& + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij}^{\text{сист}} \beta_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Pi_{ij} \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F_{ij} \gamma_{ij} \Delta_{ij}} \eta, \tag{2}
\end{aligned}$$

где $\mathcal{E}_{ij}^{\text{пр}}$, $\mathcal{E}_{ij}^{\text{экол}}$, $\mathcal{E}_{ij}^{\text{соц}}$, $\mathcal{E}_{ij}^{\text{сист}}$ – i -е j -го вида (экономические, социальные, экологические, научно-технические, синергические результаты, эффекты) в сферах производства, в экологической сфере (воспроизводство плодородия земель, очистка от загрязнения, ликвидации деградации), в социальной сфере (улучшение условий труда, быта); β_{ij} – i -е коэффициенты, приводящие к единой метрической размерности (в частности, стоимостной), разнокачественные j -е результаты, эффекты; $\Pi_{ij}^{\text{пр}}$, $\Pi_{ij}^{\text{экол}}$, $\Pi_{ij}^{\text{соц}}$, $\Pi_{ij}^{\text{сист}}$ – i -е потери j -го рода в производстве, природо-экологической системе, социальной сфере; F_{ij} – i -е разнокачественные j -го рода производственные, природные, социальные ресурсы, фонды; γ_{ij} – коэффициент, приводящий к единой метрической мере оценки разнокачественных ресурсов; η_{ij} – коэффициент, корректирующий полученный результат в соответствии со структурой полученных оценок эффективности в численной интегральной оценке (при низкой результативности воспроизводства плодородия, сохранения земельных ресурсов соответственно снижается оценка эффективности в сфере производственно-хозяйственного использования земельных ресурсов); Δ_{ij} – доля примененных i -х ресурсов j -го вида.

Таким образом, интегральный критерий основывается на системе пропорций – пределов оценок эффективности в каждой из сфер – с учетом реализуемых и перспективных возможностей достижения оптимальных результатов. Практическая реализация этого метода предполагает оценку значимости критериев каждой из сфер, предпочтений, приоритетов в достижении тех или иных уровней производственных, экологических, социальных и научно-технических результатов, и такая оценка не является однозначной.

Первое слагаемое интегральной эффективности представляет собой эффективность хозяйственного использования земельных угодий, земельных участков. Второе слагаемое отражает экологическую результативность землепользования и защиты земель от деградации; третье – социальную результативность землепользования, защиты от МДП, четвертое слагаемое характеризует системный результат от комплексного проведения мероприятий по совершенствованию землепользования и защиты земель от деградации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты приведенных выше исследований многих научно-исследовательских учреждений показывают, что уплотняющие деформации почвы зависят от ее свойств, влажности, плотности во время прохода техники, марки трактора, характера его ходовой системы, кратности воздействия. Глубины деформации варьируют от 20–30 до 50–60 см. В научной литературе имеются сведения о более глубоком (до 1 м) воздействии движителей техники на почву.

Установлено, что при многократном воздействии на почву идет накопление уплотнения как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах. Уплотнение почвы идет не только в вертикальном, но и в горизонтальном от центра следа движителя направлении, которое в зависимости от типа движителя, марки трактора, исходных свойств почвы распространяется на 35–70 см в сторону от центра следа движителя.

Обобщение имеющихся материалов по проблеме воздействия техники на почву показывает, что этому воздействию подвержены практически все почвы, но особенно влажные ($W \geq 0,65 \div 0,70$ НВ) почвы суглинистого и глинистого механического состава, площадь которых на пашне составляет более 170 млн га.

В наибольшей мере уплотняют влажную почву, разрушают ее структуру автомобили, транспортные и тяжелые уборочные агрегаты, многотонные агрегаты по внесению органических и минеральных удобрений. Так, по данным Почвенного института им. В.В. Докучаева, в пойменной дерново-глеевой почве по следам автомобилей наблюдалось уплотнение и разрушение структуры на глубину до 50 см. Повышенная плотность и глыбистость структуры в пахотном слое сохранялась в течение трех последующих лет, несмотря на многократную обработку.

Особого внимания заслуживают изучение воздействия на почву тяжелой мелиоративной техники (скреперы, бульдозеры, канавокапатели, дренажники) при строительстве оросительных и осушительных систем. Проблема уплотнения почв ходовыми системами тяжелой техники весьма актуальна в процессе эксплуатации мелиорированных как осушаемых, так и особенно орошаемых земель.

Обобщение результатов исследований на дерново-подзолистых почвах Московской, Ленинградской, Кировской областей РСФСР, в Белоруссии, Литве, Эстонии показало, что по следам тракторов плотность почвы в результате разрушения структуры повышается на $0,1-0,3$ г/см³, достигая

величины 1,35–1,55 г/см³, что значительно превышает оптимальные значения. Чтобы представить себе, что означает изменение плотности на 0,1 г/см³, нужно иметь в виду, что урожай зерновых падает при этом на 2–10 ц/га, в среднем на 6 ц/га. При возделывании картофеля повышение плотности выше оптимума на 0,1 г/см³ ведет к снижению урожая на 15–25 ц/га.

В исследованиях Почвенного института им. В.В. Докучаева на серых лесных почвах Московской и Тульской областей РСФСР показано, что достоверное повышение плотности почвы и снижение ее порозности под воздействием движителей тракторов наблюдалось в слое 0–40 см. Наибольшее уплотнение почвы отмечено в слое 10–30 см при воздействии на влажную почву тракторов Т-150К и К-701 (1,44–1,57 г/см³).

Установлено, что уплотняющим деформациям после прохода сельскохозяйственной техники подвергаются и почвы с более благоприятными исходными физическими свойствами, чем дерново-подзолистые и серые лесные. В книге приведены сведения об уплотнении под воздействием ходовых систем тракторов и другой сельскохозяйственной техники и снижении плодородия типичных мощных черноземов Курской области, обыкновенных черноземов Воронежской области, мощных черноземов Украины, Молдавии.

В многолетних стационарных опытах ВИМ на тяжелосуглинистом карбонатном кубанском черноземе показано значительное уплотнение пахотного и подпахотного слоев почвы под воздействием проходов движителей тракторов. В этих опытах установлено, что даже черноземная почва после одного прохода тракторов Т-150К и К-701 не восстанавливает свою плотность в течение года, в то время как после одного прохода ДТ-75 плотность самовосстанавливается до исходного уровня.

Уплотнение почв движителями сельскохозяйственной техники приводит к резкому повышению их твердости или сопротивления расклинованию. Твердость почвы, в свою очередь, определяет такие важные практические показатели, как условия развития корневой системы растений и сопротивление почвы обработке. По многочисленным данным, твердость почвы под следами тракторов возрастает в пахотном слое в 2–10 раз. Достоверное повышение твердости почвы при многократном воздействии на нее техники прослеживается на глубину до 50–60 см. Наибольшие различия наблюдаются в верхнем 10-сантиметровом слое. С глубиной различия в твердости между почвой по следу и вне следа сглаживаются.

Возрастание плотности и твердости почвы приводит к значительному ухудшению ее технологических характеристик и росту сопротивления обработке. В исследованиях ВИМ показано, что по следам колесного трактора К-701 степень крошения пласта физически спелого чернозема при его вспашке была в 1,5 раза ниже, чем вне следов. Сопротивление вспашке почвы по следам гусеничных тракторов возрастает на 16–25%, по следам колесных тракторов, автомобилей и комбайнов – на 44–65% и по следам транспортных агрегатов – на 72–90%.

Расчеты показывают, что из-за уплотнения почвы движителями транспортно-технологической техники только на вспашку в стране дополнительно расходуется около 1 млн. т топлива в год.

Ухудшение агрофизических свойств почв, их водного, воздушного и

пищевого режимов в результате уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники ведет к снижению всхожести культурных растений, повышению засоренности и в конечном итоге к снижению урожая.

В опытах Почвенного института им. В.В. Докучаева на пойменной почве показано, что резкое ухудшение физических свойств привело к снижению урожая зеленой массы кукурузы на 40–60%. При однократном сплошном покрытии влажной дерново-подзолистой почвы следами тракторов Т-150К и К-700 урожай ярового ячменя снизился на 23,7% (при 38 ц/га на контроле). На 37% снизился урожай ячменя при трехкратном сплошном покрытии почвы следами трактора К-700. Последствие такого уплотнения на снижение урожая наблюдалось в течение двух лет.

В опытах ВИМ и ТСХА на дерново-подзолистой суглинистой почве урожайность ярового ячменя, горохо-овсяной смеси и озимой пшеницы на делянках, где посев проводился агрегатами с трактором Т-150К и К-700, был ниже, чем на делянках, где посев проводился агрегатами с трактором ДТ-75, на 8–10 и 18–20% соответственно. Аналогичные материалы получены в Эстонии и Литве.

В исследованиях ТСХА и Почвенного института показано, что в результате воздействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов при ранневесенних подкормках озимой пшеницы, при обработке посевов гербицидами потери урожая составляют 1–3 ц/га (5–7%).

В опытах Почвенного института им. В.В. Докучаева на серых лесных почвах Московской и Тульской областей показано различие во влиянии уплотнения в зависимости от агрофона и возделываемой культуры. В опытах ВИМ на черноземах Кубани урожай культур сплошного сева при двукратном сплошном покрытии поля следами тракторов Т-150К и К-701 снижался примерно на треть, а при четырехкратном – на 43–45%. На обыкновенных черноземах в Воронежской области урожай ячменя во влажные годы на уплотненных тракторами участках снижался на 7–14%, а в засушливые в зависимости от марки трактора и кратности уплотнения – на 20–78%.

Снижение урожайности на 25% по следам трактора К-700 отмечено на черноземах Украины и Молдавии. Урожай зеленой массы кукурузы при сплошном покрытии черноземов Молдавии следами Т-150К снижался при двукратном воздействии на 48%, а при четырех- и шестикратном воздействии – на 80–87%, при урожае на контроле 650 ц/га. В опытах на Украине снижение урожая кукурузы, убранный на зеленый корм, при 1–7 проходах Т-150К составило соответственно 8–40%.

Таким образом, к настоящему времени достоверно установлено, что движители существующей сельскохозяйственной техники снижают эффективное плодородие различных почв, а тяжелая колесная техника снижает и потенциальное плодородие. Это в большинстве случаев приводит к существенному недобору урожая различных культур.

Расчеты показывают, что только при учете работы тракторов на посеве, без учета влияния последствия уплотнения на величину урожая и изменение плотности почв в результате воздействия других видов транспортно-технологической техники, недобор урожая зерновых культур сплошного сева составляет 13–15 млн т. Имеет место также значительный недобор урожая кукурузы, сахарной свеклы, картофеля и других культур.

Исследованиями в нашей стране и за рубежом установлено, что давление на суглинистую почву при влажности выше 0,7 НВ не должно превышать 0,5–0,7 кгс/см². Следует отметить, что при такой или чуть большей влажности почвы проводятся все ранневесенние полевые работы. При указанных давлениях будет слабо разрушаться структура почвы, плотность через некоторое время самовосстановится. При влажности 0,6 НВ и ниже допустимое давление на почву повышается до 1,5–2 кгс/см². Однако, по имеющимся в данной работе оценкам, гусеничные тракторы общего назначения развивают на почву давление, равное 1,5–2 кгс/см², а колесные — 2,0–3,0 кгс/см². Давление на почву комбайнов и транспортных средств еще выше.

Специалистам колхозов и совхозов страны рекомендуется максимально ограничить использование на влажной почве, особенно в весенний период, колесных тракторов К-700, К-700А, К-701 и Т-150К, при интенсификации использования имеющегося парка гусеничных машин за счет агрегатирования их на наибольшую возможную ширину захвата. Одновременно рекомендуется рыхление следов трактора с помощью специально изготовленных рыхлителей.

При разработке конкретных схем организации полевых работ рекомендуется отдавать предпочтение такой схеме, при которой проходы по полю всех видов сельскохозяйственной техники, и особенно автомобилей, транспортных и технологических агрегатов, были бы сведены к минимуму.

Во всех случаях заправку агрегатов семенами, удобрениями, гербицидами и топливом необходимо осуществлять у края поля, без заезда на него транспортных средств. При выполнении транспортных работ по вывозке с полей урожая, особенно таких культур, как картофель, овощи, сахарная и кормовая свекла, осуществляемых с помощью тракторных транспортных агрегатов с прицепами, следует в пределах поля использовать гусеничные тракторы.

В целях повышения устойчивости почв к уплотняющему воздействию движителей, ускорения процесса саморазуплотнения и повышения эффективности разуплотнения при глубоких рыхлениях рекомендуется внесение высоких доз (80–120 т/га) органических удобрений. Для снижения уплотняющего воздействия техники на почву должны внедряться приемы минимализации обработки, рекомендованные для конкретных зон.

Научно-исследовательским институтам сельского хозяйства необходимо совершенствовать технологии механизированных процессов с целью снижения числа проходов по полям, особенно тяжелой колесной сельскохозяйственной техники и автомобилей. Следует разработать агротехнические требования на перегрузный технологический процесс, предусматривающий перемещение в пределах поля только транспортных технологических средств с давлением на почву, не превышающим 100 кПа (1 кгс/см²), а также на чизели-глубокорыхлители.

С учетом конкретных почвенно-климатических условий и процессов саморазуплотнения почв необходимо разработать приемы разуплотнения пахотного слоя с помощью рациональных обработок, внесения органических удобрений, заделки растительных остатков и др.

НПО НАТИ за последние 10 лет проведены поисковые работы, которые позволили установить уровень уплотняющего воздействия на почву

ходовых систем тракторов при весенних полевых работах, создать методы расчетного определения параметров ходовых систем с учетом оценки воздействия их на почву и приступить совместно с Харьковским и Волгоградским тракторными заводами к созданию опытных образцов ходовых систем. Кроме того, предусмотрены работы по модернизации ходовых систем универсально-пропашных тракторов классов 1,4 и 2,0, проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке многоколесных ходовых систем 6К6 и 8К8, совершенствованию подвески и увеличению количества опорных катков, а также созданию пневмогусеничного хода для пахотных тракторов классов 3–5. Проведены испытания трактора Т-150К на сдвоенных колесах, будут определены зоны их применения и объем необходимого производства.

Реализация намеченных мероприятий позволит, однако, только уменьшить ущерб от воздействия движителей на почву. Для коренного решения проблемы необходимо совершенствование движителей и создание новых их типов, отвечающих современным требованиям сельского хозяйства.

В этом плане представляется необходимым следующее:

1) ускорить темпы наращивания выпуска на ХТЗ гусеничного трактора Т-150 с усовершенствованным типом движителя, обеспечивающим снижение давления на почву до допустимого уровня;

2) ускорить постановку на производство на ВгТЗ трактора ДТ-175С, усовершенствовав его движитель, со снижением давления на почву до допустимого уровня;

3) интенсифицировать работы по созданию пневмогусеничного движителя для тракторов класса 3;

4) ускорить разработку и постановку на производство гусеничного трактора класса 5 с двигателем мощностью 184 квт;

5) развернуть работы по созданию эластичных шин, допускающих в полевых условиях работу при давлении в них воздуха 40–60 кПа (0,4–0,6 кгс/см²), что позволит обеспечить допустимое воздействие на почву различных типов полевой транспортно-технологической техники.

Решение проблемы снижения уплотнения почв требует также принятия ряда научно-организационных мер. Необходимо продолжить и усилить комплексные исследования в области теории и практики взаимодействия систем движитель–почва, почвообрабатывающие орудия–почва, уплотнения и разуплотнения почв; усилить исследования по борьбе с уплотнением почв в головных и зональных институтах системы АН СССР, Госагропрома СССР и союзных республик, ВАСХНИЛ; организовать исследования динамики плотности и структурного состояния почв по природно-сельскохозяйственным зонам страны, а также принять меры к ускорению разработки и серийного производства отечественной аппаратуры по определению плотности, твердости, влажности, структуры и напряжения в почве.

ЛИТЕРАТУРА

Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. 256 с.

Амиранидзе В.И., Квижинадзе Г.В., Шубитидзе Ж.Г. О количественном учете физического состояния почв междурядий чайных плантаций при применении мобильной техники в условиях Колхиды // Сб. трудов к VI Всесоюз. съезду почвоведов. Тбилиси, 1981. С. 218–229.

Бондарев А.Г. Физические свойства почв как теоретическая основа прогноза их уплотнения сельскохозяйственной техникой // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1981. С. 3–9.

Бондарев А.Г., Бахтин П.У., Сапожников П.М., Уткаева В.Ф., Максимов Д.С., Шепотьев В.Н., Гончаров В.М. Изменение физических свойств и плодородия серых лесных почв при их уплотнении и разуплотнении // Плодородие почв и его изменение при уплотнении и разуплотнении: Науч. тр. Почв. ин-та В.В. Докучаева. 1984. С. 9–18.

Босикашвили А.Ш. Гусеничные модификации самоходного шасси Т-16М // Республ. науч.-практ. конф. по выпр. разработки машин и орудий и их внедрения в с.-х. пр-во ГССР. Тбилиси: ГНИИМСХ, 1975. С. 5–6.

Бурьякин А.М. Темпы эрозии почв естественных и техногенных ландшафтов // Почвоведение. 1986. № 4. С. 80–89.

Вадюкина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высш. шк., 1973. 399 с.

Варшавский Б.Я., Ушаков А.Ф., Барабаш Н.Н. и др. Индустриальная технология возделывания свеклы. М.: Колос, 1983. 150 с.

Вишпер Х.И. Влияние ходовых сис-

тем некоторых сельскохозяйственных тяговых транспортных средств на свойства почв и урожайность ячменя Отра // Изменение физико-механических и технологических свойств в результате механического воздействия мобильных технических средств на почву. Таллин, 1982. С. 23–24.

Вирченко Н.А., Ляшко И.И., Шевцов К.И. Графики функций. Киев: Наук. думка, 1979. 313 с.

Гаврилов Е.И. Положения по определению эффективности общественного производства, непроизводственной сферы, новой техники, научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ // Общие методологические положения по определению эффективности социалистического воспроизводства. Минск, 1982а. Ч. 1. С. 86.

Гаврилов Е.И. Положения по определению эффективности общественного производства, непроизводственной сферы, новой техники, научно-исследовательских работ // Определение эффективности социалистического воспроизводства в целом, его отдельных фаз и сфер. Минск, 1982б. Ч. 2. С. 160.

Гапоненко В.С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1981. С. 56–62.

Гапоненко В.С., Соловей В.Е., Козак А.М., Гончаров Ю.М. Уплотнение почвы ходовыми устройствами тракторов класса 3 и 5Т на весенних работах // Исследования по механизации и электрификации сельского хозяйства: Науч. тр. УСХА, 1971. Вып. 34. С. 268–272.

Гапоненко В.С., Федотов Б.Г. Уплотнение почвы ходовыми устройствами тракторов // Механизация и электрифи-

кация сельского хозяйства. 1984. № 8. С. 48–50.

Гарбар В.А. Исследование влияния воздействия движителей тракторов на почву при возделывании зерновых культур: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Горки, 1971. 23 с.

Горбунов Н.И. Минералогия и коллоидная химия почв. М.: Наука, 1974. 314 с.

Горячкин В.П. Собрание сочинений. М.: Колос, 1968. Т. 2. 452 с.

Градусов Б.П. Глинистые минералы основных типов почв земледельческих областей СССР: (Состав, генезис, свойства): Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1980. 29 с.

Грачев В.А., Корнблюм Э.А. Кинетика набухания и набухаемость почв солонцовых комплексов и солодей Заволжья // Почвоведение. 1982. № 1. С. 55–66.

Долгов С.И., Кузнецова И.В., Модина С.А. О критериях оптимального сложения пахотного слоя почвы // Проблемы обработки почвы: Докл. междунар. совещ. 13–15 июня 1968 г., Варна. София, 1970. С. 131–142.

Евтенко В.Г., Ивченко А.И., Ялинская Л.И. Научно-методические рекомендации по комплексной оценке эффективности использования ходовых систем высокой проходимости // Проблемы снижения уплотняющего действия на почву систем трактора, мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин. Киев, 1982. С. 52–64.

Жилко В.В. Эродированные почвы Белоруссии и их использование. Минск: Ураджай, 1976. 168 с.

Закиров А., Умарова Р. Глубокое рыхление почвы // Сел. хоз-во Узбекистана. 1969. № 8. С. 14–16.

Заславский М.Н. Почва и эрозия // Человек и природа. 1980. № 4. С. 13–66.

Зимкувене А. Действие минеральных удобрений N, P, K на почвах различной плотности // Тр. Литов. НИИ земледелия. 1982. Т. 28. С. 81–84.

Зимкувене А., Гинджюлис А. Влияние влажности почвы и удобрения на оптимальную плотность почвы для ячменя // Там же. 1974. Т. 18. С. 21–28.

Каджолене Г. Влияние плотности почвы на некоторые физические, химические, биологические ее свойства и урожай ячменя // Вопр. земледелия: Информ. бюл. Литов. НИИ земледелия. 1971. № 23. С. 30–32.

Каск Р.П. Земельный фонд Эстон-

ской ССР и его сельскохозяйственное качество. Таллин: Валгус, 1975. 385 с. На эст. яз.

Квижинидзе Г.В. Особенности механизации сельскохозяйственных и мелиоративных работ и система машин по механизации возделывания многолетних субтропических культур в условиях Колхидской низменности // Тез. докл. науч.-производств. сессии по проблеме "Осушение и освоение переувлажненных земель Колхидской низменности". Тбилиси; Хоби, 1975. С. 168–171.

Кереселидзе Ш.Я. Современное состояние механизации процесса сбора чая и ее будущее. Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1978. 145 с.

Кильдема К.Т. Об улучшении использования каменных земель. М.: Сельхозиздат, 1962. 120 с.

Ковалев Р.В., Панин П.С., Панфилов В.П., Селяков С.Н. Почвенно-мелиоративное районирование южной равнинной части Обь-Иртышского междуречья // Почвы Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 1967. С. 5–77.

Ковда В.А. Почва и ее охрана: Проблемы мелиорации // Земля людей. М.: Знание, 1981. Вып. 4. С. 149–161.

Кононов А.М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Белоруссии: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Горки: БСХА, 1974. 41 с.

Кононов А.М., Гарбар В.А. Уплотнение почв агрегатами // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1973. № 1. С. 46–47.

Королев А.В. Изменение сложения пахотного слоя почвы под действием колес трактора // Зап. Ленинград. СХИ. 1967. Т. 7, вып. 3. С. 33–43.

Краак В.Г. Возможности повышения индустриализации растениеводства путем мелиоративной реконструкции полей: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Тарту, 1978. 24 с.

Кузнецов М.С. Противоэрозионная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1981. 81 с.

Кузнецов Н.Г. Сохранение плодородия почвы при воздействии на нее ходовых систем тракторов и рабочих органов машин // Вестн. с.-х. наук. 1978. № 7. С. 115–118.

Кузнецов С.В. Об отрицательном эффекте уплотнения почвы тракторами и сельскохозяйственными машинами // Тр. ВИМ. 1974. Т. 66. С. 55–61.

Кузнецова Е.П., Осипович Л.А., Чудновский А.Ф. Разработка и применение полупроводниковых датчиков для измерения внутрипочвенных давлений // Сб. тр. АФИ по агрономической физике. 1973. Вып. 34. С. 209–212.

Кузнецова И.В. Физические условия плодородия мощных черноземов // Почвоведение. 1967. № 7. С. 102–110.

Кузнецова И.В. Уплотняющее действие трактора "Белорусь" на черноземах Курской области // Там же. 1978. № 10. С. 53–57.

Кузнецова И.В. Изменение дифференциальной пористости и водно-физических свойств почвы при уплотнении // Плодородие почв и его изменение при уплотнении и разуплотнении: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1984. С. 18–25.

Лемешев М.Я. Продовольственная программа и охрана окружающей среды // Вопр. экономики. 1985. С. 79–89.

Маслов Б.С. Опыт осушения тяжелых почв и задачи науки // Осушение тяжелых почв. М.: Колос, 1981. С. 5–20.

Медведев В.В. Микроморфология антропогенных процессов в почвах // Микроморфология естественных и антропогенных почвообразовательных процессов: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1981. Вып. 28. С. 63–65.

Медведев В.В., Адерихин П.Г., Гаврилюк Ф.Я., Чесняк Г.Я. Физико-химические свойства черноземов // Русский чернозем: 100 лет после Докучаева. М.: Наука, 1983. С. 199–214.

Медведев В.В., Озеранский Л.А., Лактионова Т.Н. Влажность почв Украинской ССР во время обработки // Агрохимия и почвоведение. Киев: Урожай, 1981. Вып. 42. С. 62–66. На укр. яз.

Медведев В.В., Слободюк П.И., Цыбулько В.Г., Чернова М.С. Исследование крошения предварительно уплотненной почвы // Тр. Харьков. СХИ. 1976. Т. 215. С. 50–57.

Медведев В.В., Цыбулько В.Г. Обоснование допустимого удельного давления сельскохозяйственных машин на почву и метод его определения // Перспективы снижения удельного давления ходовых систем сельскохозяйственных тракторов и сельскохозяйственных машин на почву: Тез. докл. Всесоюз. науч. семинара. Киев, 1975. С. 36–37.

Медведев В.В., Цыбулько В.Г. Изменение физических свойств пахотного слоя почв в зависимости от удельного давления сельскохозяйственных ма-

шин: (По данным модельного опыта) // Агрохимия и почвоведение. Киев: Урожай, 1978. Вып. 35. С. 76–82. На укр. яз.

Медведев В.В., Цыбулько В.Г., Слободюк П.И., Пащенко В.Ф., Чернова М.С. Способ определения удельного сопротивления почвы по расходу топлива двигателем трактора // Агрохимия и почвоведение. Киев: Урожай, 1979. Вып. 37. С. 97–100.

Медведев В.В., Цыбулько В.Г., Слободюк П.И., Чернова М.С. Об уплотнении чернозема типичного сельскохозяйственной техникой и путях его снижения // Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1981. С. 47–53.

Методические рекомендации по изучению маршрутизации движения машинно-тракторных агрегатов при возделывании сельскохозяйственных культур с целью уменьшения площади уплотнения полей. М.: 1984. 11 с.

Методические рекомендации по интенсивной технологии возделывания озимых культур. Харьков, 1985. 34 с.

Михайленко С.В., Черноштан Л.И. Численные методы // Учебное пособие по лабораторному практикуму. Харьков, 1984. С. 32–36.

Модина С.А., Долгов С.И. Сложение и структурное состояние почвы // Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. С. 42–71.

Моцерелия А.В. Мелиорация и сельскохозяйственное освоение Колхидской низменности. М.: Колос, 1974. 291 с.

Музычкин Е.Т., Кузнецова И.В., Потанова А.И., Кахута Н.М. О применении гербицидов и минимальной обработки пропашных культур на типичных черноземах // Почвоведение. 1968. № 11. С. 86–96.

Новая техника и прогрессивные технологии в сельском хозяйстве: Зарубежный опыт. М.: ЦНИИТЭИСХ, 1984. Вып. 1. 92 с.

Носко Б.С., Бахтин П.У. Уплотнение почвы движителями тракторов и машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1981. № 2. С. 34.

Охитин А.А., Судаков А.В. Методика и устройство для изучения динамики объемной массы почв в полевых условиях // Сб. тр. АФИ по агроном. физике. Л., 1983. С. 61–64.

Панфилов В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 1973. 258 с.

Панцхава Р.Д. Уход за почвой в плантациях механизированного сбора чайно-

го листа // Субтропические культуры. 1969. № 5. С. 128–138.

Пигулевский М.Х. Пути и методы изучения физико-механических свойств почвы // Тр. ВНИИ механизации сел. хоз-ва 1935. Т. 1. С. 126–127.

Подолько А.П. Влияние уплотнения почвы движителями тракторов на агрофизические ее свойства и урожай ячменя: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Жодино, 1978. 17 с.

Подпальный И.Ф., Тыщенко А.И., Даник В.С. Эффект глубокого рыхления на осушенных землях Львовской области // Гидротехника и мелиорация. 1974. № 4. С. 74–77.

Потапов Б.И. О влиянии влажности и уплотнения почв на предельное сопротивление их сдвигу // Почвоведение. 1966. № 4. С. 30–32.

Почвы Украинской ССР. М. 1:750 000. Карта / Под общ. ред. Н.К. Крупского. Киев, 1972.

Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем трактора, мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин // Науч. тр. УСХА. Киев, 1982. С. 203.

Программа и методики комплексных исследований по изучению влияния ходовых систем сельскохозяйственных тракторов, комбайнов и транспортных средств на почву. М.: ВИМ, 1979. 63 с.

Пупонин А.И. Обработка почвы в интенсивном земледелии нечерноземной зоны. М.: Колос. 1984. С. 51–52.

Пупонин А.И., Матюк Н.С., Манолый Г.Г. Агротехнические способы снижения уплотнения дерново-подзолистых почв // Плодородие почв и его изменение при уплотнении и разуплотнении: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1984. С. 25–34.

Рабочев И.С. Земля – наше богатство // Труд. 1978. 6 янв. № 5.

Рабочев И.С., Бахтин П.У., Гавалов И.В. и др. Уплотнение почвы ходовыми системами машин // Земледелие. 1978. № 5. С. 74–77.

Ревут И.Б. Физика почв. Л.: Колос, 1964. 320 с.

Результаты исследований по ограничению уровня воздействия движителей сельскохозяйственной техники на почву: Временные рекомендации. М.: МСХ СССР, 1983. 29 с.

Реппо Э.А. Требования красного клевера к плотности сложения пахотного

слоя // Науч. тр. Эст. НИИЗМ. Таллин: Валгус, 1975. Т. 36. С. 56–62. На эст. яз.

Русанов В.А., Баутин В.М., Небогин И.С., Юшков Е.С. Влияние ходовых систем тракторов на урожайность пропашных культур // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1981. С. 37–43.

Садыков Г.К. Технический прогресс и пути улучшения эксплуатации машинно-тракторного парка: Обзор. информ. М.: ВНИИТЭСХ. 1977. 53 с.

Сальников В.К. Приемы обработки почвы, улучшающие влагообеспеченность посевов: Обзор. информ. М.: ВНИИТЭСХ, 1978. С. 5–13.

Саранин К.И., Шентухов В.Н., Квашин-Самарин И.С., Ковалев А.В. Изменение физических свойств дерново-подзолистой почвы под воздействием ходовых систем МТА и приемы ее разуплотнения // Плодородие почв и его изменение при уплотнении и разуплотнении: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1984. С. 34–41.

Скоропанов С.Г., Кришталъ Ю.И. Ветровая эрозия торфяных почв // Мелиорация и проблемы органического вещества. Минск: Ураджай. 1974. С. 61–78.

Скребелис С.И. Влияние движителей тракторов на почву и способы уменьшения неблагоприятных воздействий // Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем трактора, мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин. Киев. 1982. С. 106.

Слободюк П.И., Чернова М.С., Дунай Н.Ф. и др. Изменение физических свойств почвы в зависимости от действия ходовых систем тракторов // Вести. с.-х. науки. 1978. № 2. С. 12–18. На укр. яз.

Тихоновский Н.С. Экономические проблемы повышения плодородия почв. Минск: Ураджай, 1983. 192 с.

Тома Д. Методы и машины для глубокого рыхления почв // Европейская экономическая комиссия ООН. Нью-Йорк, 1982. Докл. 95. С. 14.

Трофимов С.Н. Потери питательных веществ в результате водной эрозии // Тез. докл. VIII Междунар. конгр. по минеральным удобрениям. М., 1976. С. 232–234.

Физико-механические свойства растен-ий, почв и удобрений // Тр. ВИСХОМ /

Под ред. А.И. Буянова и Б.А. Боронюка. М.: Колос, 1970. С. 409–410.

Халлер З. Земледелие. Таллин: Валгус, 1984. 272 с. На эст. яз.

Цыгович Н.А. Механика грунтов. М.: Вышш. шк. 1973. 274 с.

Чижикова Н.П. Минералогический состав илистой фракции и черноземов // Черноземы СССР. М.: Урожай, 1974. Т. 1. С 173–176.

Шевлягин А.И. Реакция сельскохозяйственных культур на различную плотность слоения почвы // Сб. реф. на Междунар. науч. симпоз. 22–24 июня. Брно, 1966. С. 93–162.

Шенгухов В.Н. Влияние уплотняющего действия сельскохозяйственных машин на изменение физических, физико-механических свойств и плодородие дерново-подзолистых и пойменных почв: (На примере Московской области): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1979. 28 с.

Шипилов М.А. Влияние уплотнения почвы на урожай // Земледелие. 1982. № 11. С. 17–19.

Шипилов М.А. Влияние уплотнения почвы ходовыми системами тракторов на агрофизические, биологические свойства и плодородие обыкновенных черноземов ЦЧЗ: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 1983. 21 с.

Шубитидзе Ж.Г., Квижинадзе Г.В., Кибальников Н.И., Бахтин П.У. Мобильная техника и почва в междурядьях чайной плантации в условиях Колхидской низменности // Изменение физико-механических и технологических свойств почв в результате механического воздействия мобильных технических средств на почву. Таллин, 1982. С. 39–41.

Dumas W.T., Kummer P.H., Smith L.A. Controlling traffic in creases cotton yields // Agr. Pes. Hithliths. 1972. Vol. 19, N 2. P. 16.

Schulte-Karring H. Die meliorative Bodenbewirtschaftung. Ahrweiler, 1970. S. 130.

Soil studies in the laboratory are helping to solve tillage problems in the fields // Forrow. 1976. Vol. 81, N 6. P. 16–17.

Swain R.W. Subsoiling // Techn. Bull. Soil Physic. Conditi. and Crop Product. 1975. № 29. P. 189–204.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие. <i>В.А. Кавда</i>	3
Методические особенности изучения уплотнения почв сельскохозяйственной техникой	5
Методы исследования свойств и режимов почв при их уплотнении. <i>А.Г. Бондарев</i>	5
Методика и схемы полевых опытов. <i>А.И. Пупонин, Н.С. Матюк, Н.П. Липецкий</i>	8
Прямые инструментальные наблюдения уплотнения и напряжения в почвенном профиле. <i>П.И. Слободюк, В.Ф. Пащенко, Э.Ю. Нугис</i>	14
Влияние уплотнения машинно-тракторными агрегатами на свойства, режимы почвы и урожай сельскохозяйственных культур	27
Дерново-подзолистые почвы Подмосковья. <i>А.И. Пупонин, Н.С. Матюк</i>	27
Дерново-подзолисто-глеевые почвы Эстонии. <i>Э.Ю. Нугис</i>	35
Дерново-подзолистые почвы Белоруссии. <i>Н.И. Афанасьев, И.И. Подобедов, А.И. Орда</i>	46
Дерново-подзолистые суглинистые почвы Литвы <i>А.П. Тинджюлис, Р.Б. Бразаускас</i>	60
Серые лесные почвы. <i>А.Г. Бондарев, П.М. Сапожников, В.Ф. Уткаева, В.Н. Щепотьев</i>	67
Черноземные почвы ЦЧО. <i>И.В. Кузнецова</i>	86
Черноземы Украины	98
Восточная левобережная лесостепь. <i>В.В. Медведев, П.И. Слободюк, В.Г. Цыбулько</i>	98
Центральная и правобережная лесостепь. <i>В.С. Гапоненко</i>	105
Оценка воздействия ходовых систем мобильной техники на почву в междурядьях чайной плантации в Колхидской низменности. <i>Ж.Г. Шубитидзе, Г.В. Квижинадзе, П.У. Бахтин</i>	115
Черноземы Западной Сибири. <i>В.Н. Слесарев</i>	127
Орошаемые почвы. <i>А.Г. Бондарев</i>	139
Агрохимические и механико-технологические приемы разуплотнения почв	144
Роль комбинированных и широкозахватных машин и агрегатов в уменьшении уплотняющего воздействия на почву. <i>А.С. Кушнарев</i>	144
Пути совершенствования организации и выполнения механизированных полевых работ и маршрутизация движения МГА. <i>В.В. Медведев, П.И. Слободюк, В.Ф. Пащенко</i>	150

Агротехнические приемы разуплотнения почв. <i>А.С. Кушнарев, А.И. Пупо-нин, Н.С. Матюк</i>	158
Теоретическое обоснование допустимых уровней воздействия на почву и про-гноз уплотнения пахотных почв страны	166
Определение нормативов допустимых давлений на почву. <i>А.Г. Бондарев, В.А. Русанов, П.М. Сапожников, М.В. Седов, В.Ф. Уткаева, В.Н. Щепотьев</i>	166
Обоснование допустимых уровней нагрузки МТА на почву (на примере черно-земных почв УССР). <i>В.В. Медведев, В.Г. Цыбулько</i>	173
Саморазуплотнение разных типов почв под влиянием процессов набухания-усадки. <i>И.В. Кузнецова, В.И. Данилова</i>	182
Методики прогнозирования предрасположенности почв к уплотняющему дей-ствию машинно-тракторных агрегатов <i>В.В. Медведев, А.Г. Бондарев, П.И. Сло-бодюк, В.Ф. Пащенко, Т.Н. Лактионова</i>	194
Экологические и социально-экономические проблемы борьбы с машинной деградацией почвы (на примере Белоруссии). <i>Е.И. Гаврилов, В.Г. Рудель-сон</i>	198
Экологические и социально-экономические последствия деградации почвы . . .	198
О комплексной оценке земельных угодий и мероприятий по предотвращению машинной деградации почв	199
Заключение. <i>А.Г. Бондарев, В.А. Русанов, В.В. Медведев</i>	205
Литература	210

ПЕРЕУПЛОТНЕНИЕ ПАХОТНЫХ ПОЧВ
Причины, следствия, пути уменьшения

*Утверждено к печати Институтом почвоведения и фотосинтеза
Академии наук СССР*

Редактор издательства *М.Е. Анцелович*
Художник *Н.А. Козлова*. Художественный редактор *В.Ю. Кученков*
Технические редакторы *Г.И. Астахова, Л.Н. Богданова*
Корректор *О.А. Разуменко*

Набор выполнен в издательстве на наборно-печатающих автоматах

ИБ № 35485

Подписано к печати 30.07.87. Т — 05680. Формат 60×90 1/16
Бумага офсетная № 1. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная. Усл.печ.л. 13,5
Усл.кр.-отт 13,9. Уч.-изд.л 16,4. Тираж 1450 экз. Тип. зак. 1819. Цена 3р.40к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12