

631.4

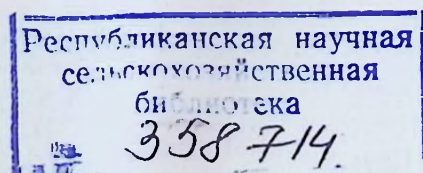
**ЗОНАЛЬНО-ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ
НОРМАТИВЫ ИЗМЕНЕНИЙ
АГРОХИМИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-
ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ПАХОТНЫХ
ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
РОССИИ ПРИ АНТРОПОГЕННЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

**Москва
2010**

З-84

3-84 631.4
Знаменитый
Российская академия сельскохозяйственных наук
Государственное научное учреждение
Почвенный институт имени В.В. Докучаева

ЗОНАЛЬНО-ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ
НОРМАТИВЫ ИЗМЕНЕНИЙ
АГРОХИМИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-
ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ПАХОТНЫХ
ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
РОССИИ ПРИ АНТРОПОГЕННЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ



Москва

2010

УДК 631.4
ББК 40.4
3 84

Ответственный редактор доктор сельскохозяйственных наук
Н.Б. Хитров

З 84 **Зонально-провинциальные** нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях. А.С. Фрид, И.В. Кузнецова, И.Е. Королева, А.Г. Бондарев, Б.М. Когут, В.Ф. Уткаева, Н.А. Азовцева: Метод. рекомендации. – М.: ГНУ Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. – 176 с.

ISBN 978-5-86921-072-2

Представлены результаты обобщения литературных данных и собственных исследований авторов по новому для агропочвоведения и агрохимии направлению исследований и практической работы – оценке допустимых изменений свойств пахотных почв при антропогенных воздействиях.

Для научных работников, агрономов, руководителей сельскохозяйственного производства разного уровня, разработчиков экологических нормативов для почв, студентов.

© А.С. Фрид, И.В. Кузнецова,
И.Е. Королева, А.Г. Бондарев,
Б.М. Когут, В.Ф. Уткаева,
Н.А. Азовцева, 2010.

ISBN 978-5-86921-072-2

© ГНУ Почвенный институт
им. В.В. Докучаева
Россельхозакадемии, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА О НОРМИРОВАНИИ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ	8
Краткая история вопроса	8
Нормирование терминологии	9
Нормирование статистики почвенных показателей для различных приложений	10
Нормирование оценок значений почвенных показателей для различных приложений	11
Нормирование временной динамики почвенных показателей	14
Нормирование оценок временной динамики почвенных показателей	16
Нормирование точности определения почвенных показателей	17
Заключение к обзору	19
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВОВ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРНО- ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА И ИНТЕНСИВНОСТИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	21
Терминология	21
Концепция методических подходов к разработке нормативов изменения свойств почв	25
Комплексная оценка антропогенных воздействий	30
3. ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВОВ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОЧВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	31
3.1. Таксономические границы пахотных почв	31
3.2. Органическое вещество пахотных почв	32
3.3. Агрохимические и физико-химические показатели пахотных почв	35
Реакция почвенной среды	35
Засоленность и щелочность почвы	36
Азот почвы	37
Подвижный фосфор почвы	37
Подвижный (обменный) калий почвы	39

3.4. Физические показатели почв.....	40
Введение.....	40
Методика исследований	42
Модели прогноза уплотнения почв сельскохозяйственной техникой и модели прогноза потерь урожайности сельскохозяйственных культур при уплотнении почв	47
Нормативы изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны ЕТР при антропогенном воздействии.....	49
Прогноз изменения плотности пахотного слоя дерново-подзолистых почв средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава в зависимости от уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники.....	54
Нормативы изменения физических свойств пахотных черноземов лесостепной зоны при антропогенном воздействии.....	56
Прогноз изменения плотности пахотного слоя черноземов тяжелосуглинистого и легкогоглинистого гранулометрического состава в зависимости от уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники.....	60
Нормативы изменения физических свойств пахотных черноземов степной зоны ЕТР при антропогенном воздействии.....	62
Прогноз изменения плотности пахотного слоя черноземов тяжелосуглинистого и легкогоглинистого гранулометрического состава степной зоны ЕТР в зависимости от уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники.....	66
Нормативы изменения физических свойств пахотных каштановых почв сухостепной зоны ЕТР при антропогенном воздействии.....	67
Нормативы изменения физических свойств пахотных светло-каштановых почв полупустынной зоны ЕТР при антропогенном воздействии.....	68
3.5. Загрязнение почв тяжелыми металлами	69

4. ЗОНАЛЬНО-ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ НОРМАТИВЫ ИЗМЕНЕНИЙ АГРОХИМИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПРИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	72
4.1. Южно-таежно-лесная зона	72
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>	72
Органическое вещество почв	75
Реакция почвенной среды.....	76
Подвижный фосфор почвы.....	82
Подвижный (обменный) калий почвы	88
Физические свойства почвы.....	91
4.2. Лесостепная зона.....	93
<i>Светло-серые лесные почвы</i>	93
Органическое вещество почв	94
<i>(Собственно) серые лесные почвы</i>	95
Органическое вещество почв	96
Подвижный фосфор почвы.....	96
Подвижный (обменный) калий почвы	98
<i>Темно-серые лесные почвы</i>	99
Органическое вещество почв	100
Подвижный фосфор почвы	100
Подвижный (обменный) калий почвы	102
<i>Черноземы лесостепной зоны в целом</i>	103
Реакция почвенной среды.....	103
Подвижный фосфор почвы	105
Подвижный (обменный) калий почвы	106
<i>Черноземы оподзоленные</i>	107
Органическое вещество почв	108
Подвижный фосфор почвы	109
Физические свойства почвы.....	110
<i>Черноземы выщелоченные</i>	111
Органическое вещество почв	112
Подвижный фосфор почвы	112
Подвижный (обменный) калий почвы	115
Физические свойства почвы.....	116
<i>Черноземы типичные</i>	120
Органическое вещество почв	122
Подвижный фосфор почвы	122
Подвижный (обменный) калий почвы	124
Физические свойства почвы.....	125

4.3. Степная зона.....	127
<i>Черноземы степной зоны</i>	127
Засоленность и щелочность почвы.....	127
Азот почвы.....	128
Подвижный фосфор почвы.....	128
Подвижный (обменный) калий почвы	130
<i>Черноземы обыкновенные</i>	130
Органическое вещество почв	131
Азот почвы.....	131
Подвижный фосфор почвы.....	132
Физические свойства почвы.....	133
<i>Черноземы южные</i>	138
Органическое вещество почв	141
Азот почвы.....	141
Подвижный фосфор почвы.....	142
Физические свойства почвы.....	144
4.4. Сухостепная зона.....	145
<i>Темно-каштановые почвы</i>	145
Органическое вещество почв	145
Засоленность и щелочность почвы.....	145
Азот почвы.....	146
Подвижный фосфор почвы.....	147
<i>Каштановые (собственно) почвы</i>	147
Органическое вещество почв	148
Подвижный фосфор почвы.....	148
Подвижный (обменный) калий почвы	150
Физические свойства почвы.....	151
4.5. Полупустынная зона.....	152
<i>Светло-каштановые почвы</i>	152
Органическое вещество почв	152
Подвижный фосфор почвы.....	153
Физические свойства почвы.....	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	154
Список литературы.....	161

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие «Нормативы» написаны в связи с заданием Рос-сельхозакадемии на 2006–2010 гг. «Разработать нормативы изменений структурно-функциональных свойств почв, почвенных процессов в зависимости от характера антропогенного воздействия и глобального изменения климата с целью корректировки агротехнологий».

Актуальность темы связана с усилением внимания к количественной оценке статистики и динамики почвенных показателей из-за необходимости повышения точности работ при картографировании, диагностике почвенных свойств, прогнозировании их изменения при тех или иных антропогенных воздействиях, а также при возможном изменении климата. В сельскохозяйственном производстве наличие различных нормативов позволяет на более точной экономической и математической основе планировать сокращение расхода ресурсов, снижение трудовых, материальных и других затрат на производство продукции, решать задачи экологического плана.

Использовать нормативы изменения свойств почв и почвенных процессов могут различные потребители. Для сельскохозяйственных производителей эти данные в первую очередь необходимы для совершенствования агротехнологий, исключения тех приемов, которые приводят к негативным изменениям свойств почв. Они позволяют правильно назначать конкретные агроприемы, направленные на устранение деградационных явлений, выбирать экономически выгодные и экологически безопасные агротехнологии; для природоохранных мероприятий – при составлении прогноза и прогнозных карт изменения почв и почвенного покрова сельскохозяйственных угодий и для экологических оценок этих изменений.

Для России с ее огромной территорией и огромном разнообразии почвенно-климатических условий даже в земледельческих зонах подобные работы всегда были и всегда будут необходимыми.

Поскольку подобная работа практически проведена впервые в стране, то результаты разработки нормативов следует считать предварительными.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА О НОРМИРОВАНИИ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ

Название работы говорит о нормативах изменений свойств почв, однако подойти к этому вопросу можно только при правильном понимании статистики (или, вернее, стационарных состояний) этих свойств.

Краткая история вопроса

Интерес к установлению нормативов почвенных показателей резко возрос с появлением необходимости массового картографирования почвенного покрова, индустриализации сельского и лесного хозяйств, а позднее и при разработке экологических проблем сначала в связи с загрязнением и мелиорацией почв, затем – при изучении возможных последствий изменения климата. Особенно бурно эти направления развивались во второй половине XX в. Конечно, это не могло происходить без длительных (примерно, столетних) предшествующих методических работ по анализу различных почвенных характеристик и оценке их значений для различных прикладных целей.

Нормирование одновременно развивалось в нескольких направлениях: 1) нормирование терминов; 2) нормирование статистики почвенных показателей для различных приложений; 3) нормирование прикладных оценок статических значений почвенных показателей, причем чаще всего второе и третье направления оказывались тесно увязанными между собой; 4) нормирование временной динамики почвенных показателей и нормирование оценок такой динамики; 5) нормирование точности определения почвенных показателей.

Результаты работ по нормированию в СССР частично нашли отражение в некоторых официальных нормативных документах (ГОСТы, ОСТы, другие ведомственные документы), частично остались просто научными разработками (рекомендации, обобщения результатов, другие публикации).

Существовало еще одно направление для создания официальных нормативов, осуществлявшееся Государственной службой стандартных справочных данных (ГСССД), которая различала три

вида данных: информационные (ИД), рекомендуемые справочные (РСД) и стандартные справочные (ССД), отличающиеся уровнем государственной аттестации; ССД были обязательны для применения во всех отраслях народного хозяйства.

В отношении почвенных данных были высказаны определенные намерения, но затем дело с аттестацией не получило развития (Фрид, 1985; Шишов, Шеремет, Фрид, Малахова, 1986). Хотя и без аттестации, разработка справочных данных по плодородию почв получила дальнейшее развитие в виде моделей (эталонов) плодородия.

В настоящее время в связи с законом «О техническом регулировании» (№ 184-ФЗ, 2002 г.) официальные нормативные документы требуют пересмотра, обновления, новых разработок и систематизации.

Нормирование терминологии

Основными источниками терминов и их определений по свойствам почв в настоящее время являются толковые словари разных лет. Другая группа источников – ГОСТы, ОСТы, ведомственные документы разных лет, касающиеся терминов и определений. Наконец, федеральные законы России также начали включать в себя толкование некоторых терминов, и в текстах законов появились определения некоторых свойств почв. Часто определения терминов переписываются из одного словаря или документа в другой, но иногда встречаются и разночтения, порой существенные. Они вызваны разными причинами: развитием науки с более глубоким пониманием термина, несогласием отдельных групп составителей словарей (документов) между собой и т.д.

Наличие несогласованных толкований терминов создает неопределенную ситуацию при их практическом использовании, в том числе – проблемы для контролирующих органов и подконтрольных организаций.

Неопределенность имеет место и в тех случаях, когда само толкование термина является неоднозначным. Причинами этого могут быть как недостаточно глубокое (или четкое) понимание, так и осознанное желание оставить некоторую возможность для варьирования толкования (что, наверное, не столь важно, когда речь идет об обучении специалистов, но важно для практической работы).

О несогласованности терминов в законодательных документах ярко свидетельствуют, например, «Термины и словосочетания, связанные с экологической безопасностью и охраной окружающей среды...», 1992».

Список наиболее востребованных (по нашему мнению) толковых словарей и официальных документов по терминологии свойств почв и близким вопросам представляют следующие работы: Толковый словарь по почвоведению, 1975; Физико-агрономический словарь, 2000; Шеин, Карпачевский, 2003; Терминологический словарь по отходам, 2003; Большаков, Белобров, Шишов, 2004; Словарь агрохимических терминов, 2005; ГОСТ 20286-74; ГОСТ 17.4.2.01-81; ГОСТ 17.4.1.02-83; ГОСТ 17.5.1.03.83; ГОСТ 17.4.1.03-84; ГОСТ 26640-85; ГОСТ 603-21-85; ГОСТ 21123-85; ГОСТ 27593-88; Методика определения размеров ущерба..., 1993; ОСТ 23 002-97.

Нормирование статистики почвенных показателей для различных приложений

В этом разделе речь пойдет о почвенных показателях, имеющих количественную оценку.

Из наиболее популярных приложений отметим классификацию почв (генетическую, субстантивную и др.), плодородие почв (сельское и лесное хозяйство), загрязнение почв (экология). В этих приложениях, как правило, диапазон возможных значений почвенных показателей разбивается на некоторое число градаций (интервалов), которые и используются при диагностике почвенных таксонов, уровней плодородия, степени загрязнения.

В классификациях почв количественные почвенные показатели используются при выделении практически всех видов и разновидностей почв, а также частично при выделении подтипов и родов. При рассмотрении вопросов плодородия и загрязнения почв также широко используются количественные показатели, правда, градации значений здесь не всегда разработаны.

Для одних и тех же почвенных показателей градации их в разных приложениях могут не совпадать как по историческим, так и по содержательным причинам, так как при разработке градаций, как правило, подспудно предполагается та или иная степень влияния показателя на целевую функцию, а последняя зависит от конкретного приложения.

Для целей классификации почв одна из наиболее полных отечественных сводок градаций почвенных показателей (в том числе количественных) дана в Методическом руководстве по описанию почв в системе информационной базы классификации, 1986. Для целей плодородия такая сводка градаций (частично пересекающаяся с классификационными) приведена в Методических указаниях по проведению комплексного мониторинга, 2003. Здесь же приведены градации валового содержания и содержания подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах разного гранулометрического состава и разной кислотности.

Количество и размер градаций различных показателей тесно связаны с теми задачами, которые обусловлены конкретным применением. Однако для минимального размера градаций имеются объективные обоснования, связанные с точностью измерения соответствующего показателя. Конкретно подход здесь формулируется так: ширина градации не должна быть меньше величины межлабораторного допустимого расхождения, оцененного по совокупности различных методов измерения данного показателя (Фрид, Большаков, 1988, 1989).

Имеющиеся официальные нормативы по значениям почвенных показателей носят ведомственный характер. К ним можно отнести данные для «Классификации и диагностики почв СССР» (1977), для почвенно-картографических работ и шкалы некоторых агрохимических показателей почв, используемые в Агрохимслужбе. Дополнительные публикации на эту тему в работах: Базовые шкалы свойств морфологических элементов почв, 1982; Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и окультуривании почв, 1984; Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв, 1993.

Нормирование оценок значений почвенных показателей для различных приложений

Практически во всех направлениях использования значения почвенных показателей так или иначе оцениваются с точки зрения человека, растений, обрабатывающей почву техники и т.д.

В классификации почв для уровня видов часто используются оценки слабо-, средне-, сильно-, мелко-, средне-, глубоко- и другие, которые отражают мнение почвоведов в рамках известного им природного варьирования соответствующих показателей.

Градации почвенных показателей для целей оценки плодородия также традиционно варьируют от очень низких до очень высоких значений, исходя из имеющегося опыта по состоянию растений при том или ином значении показателя.

С развитием направления по разработке моделей (эталонов) плодородия среди градаций почвенных показателей стали выделять оптимальную, а также градации ниже и выше оптимальной, которые оцениваются как менее подходящие для растений.

Оценки почвенных показателей для целей классификации почв в значительной мере привязаны к разным почвам и регионам, т.е. дифференцированы. В то же время эти оценки могут стать искаженными, если их применять во вновь возникающих обстоятельствах, в том числе при воздействии антропогенного фактора, например, в случае засоления почв Нечерноземной зоны, избыточного увлажнения почв засушливой зоны, значительного техногенного загрязнения и механического преобразования почв. Попытка корректировать существующие оценки по содержанию гумуса именно для пахотных почв сделана Когутом и Володарской (Методические указания..., 2003). Оценки почвенных показателей для целей плодородия до недавнего времени были слишком обобщенными (видимо, из-за недостатка экспериментальной информации), но в последние годы и здесь происходит постепенная дифференциация. Так, Бондаревым проведена дифференциация по почвам для агрофизических показателей (Методические указания..., 2003).

Оценки некоторых почвенных показателей плодородия в результате сильных антропогенных воздействий (когда значения показателя существенно выходят за традиционные рамки) могут также оказаться неопределенными, например, для чрезвычайно большого содержания питательных веществ, образующихся в результате очень высоких доз внесения в почву органических удобрений и органических отходов промышленности (вблизи животноводческих и птицеводческих ферм, пищевых и других предприятий).

Большинство оценок почвенных показателей не имеют официального утверждения в качестве нормативов и применяются внутри ведомств или профессионального круга лиц в добровольном порядке.

Для целей экологической безопасности человека разработаны оценки в виде предельно допустимых (или ориентировочно допус-

тимых) концентраций загрязняющих веществ в почве, а также дополнительные к ним оценочные градации этих показателей (официальные нормативы) (Методические указания по оценке степени загрязнения почвы..., 1987; Санитарные нормы..., 1988; Критерии оценки..., 1992; Порядок определения..., 1993; Ориентировочно допустимые концентрации..., 1995).

Кроме официально утвержденных экологических оценок, имеются и другие разработки, используемые в основном в научной работе, но которые впоследствии могут стать официальными нормативами.

Сопоставление различных систем оценок загрязнения почв на примере конкретной территории (Граковский, Фрид, Сорокин, Тимохин, 1997) показало, что они требуют дальнейшей доработки и согласования между собой.

Для экологических оценок с позиций растений используется термин «фитоПДК», который пока не имеет четкого определения; один из вариантов – это нижняя и/или верхняя граница оптимального для растения диапазона почвенного показателя. Более определенным вариантом были бы нижняя и верхняя границы зоны толерантности растения, при переходе через которые гибнет вся популяция. И те, и другие границы можно найти в научных публикациях, но официальные нормативы пока отсутствуют.

Отдельно надо отметить существующие официальные оценки степени загрязнения почв радиоактивными веществами. Особенность состоит в том, что эти оценки – площадные (Ки/км²), они разработаны для ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и суммы изотопов Рu. Имеются также официальные нормативы по допустимой мощности дозы облучения всего тела человека от любых источников на загрязненной территории (Нормы радиационной безопасности. НРБ-76/87 и более поздние).

Кроме оценок для отдельных почвенных показателей, используют и комплексные, объединяющие оценки отдельных показателей. Особенно часто их используют в отношении загрязнения почв, их плодородия и пригодности для того или иного использования. Насколько известно, официальные нормативы имеются здесь только для комплексных оценок загрязнения почв (Критерии оценки..., 1992).

Дополнительно эти вопросы освещены в работах: Методические указания по агрохимическому обследованию..., 1976; Большаков, Гальпер, Клименко и др., 1978; Соколов, 1978; Агабабян,

1982; Методические рекомендации по обследованию..., 1987; Обухов, 1992; Ильин, 1995; Чертов, Чуков, 1996; Экологические требования к орошению почв..., 1996; Матвеев, Прохоров, 1997; Хабаров, Яскина, Фрид и др., 1997; Державин, Фрид, 2001, 2002; Аннотированный перечень моделей..., 1991-2005.

Нормирование временной динамики почвенных показателей

Изменение почвенных показателей может происходить в разных временных масштабах (краткосрочные, сезонные, годовые, многолетние, вековые). Изменения происходят под действием природных и антропогенных факторов. К ним относятся изменения климата, поднятие и опускание суши, природные катастрофы (оползни, сели, ураганы), осушительные и обводнительные мелиорации, сельскохозяйственное использование территории (выпас скота, распашка с тем или иным типом и системой земледелия и т.д.), промышленно-строительное использование, загрязнение почвенного покрова и т.д.

Во всех случаях нормативами могут служить скорости изменения значений почвенных показателей при той или иной интенсивности конкретного воздействия (количественно — изменение значения от «единичной силы» воздействия за единицу времени), а также скорости возврата почвенных показателей к неким исходным значениям после снятия воздействия (разуплотнение, последствие химических мелиорантов и удобрений и т.п.).

Реально изменение значений показателя чаще всего представляет собой сочетание временных колебаний и тенденции. Колебания меньшего временного масштаба можно выявить, если установить шаг измерения заметно меньше изучаемого отрезка времени, что необходимо учитывать при практической оценке временных изменений. Другими словами, норматив изменения в заданном временном масштабе представляет собой оценку временного тренда в данном масштабе, а его можно получить более или менее надежно, если математически правильно устранить (нивелировать) колебания меньшего временного масштаба.

Результаты воздействия на почву могут быть обратимые и необратимые в заданном масштабе времени и при заданной системе функционирования (использования) почвы.

Обратимость по конкретному почвенному показателю означает, что при снятии воздействия на почву (или при воздействии в обратную сторону) этот почвенный показатель принимает исход-

ное значение. В противном случае изменения в заданном масштабе времени считаются необратимыми. Обратные (восстанавливающие) изменения почвенных показателей при отмене воздействия происходят за счет естественных процессов в почвах (под влиянием природных факторов). Очевидно, что возможность необратимых изменений свойств почв тесно связана с устойчивостью последних.

Официально утвержденные нормативы временных изменений почвенных показателей нам не известны, но имеется небольшое число справочных публикаций и рекомендаций, утвержденных тем или иным научно-исследовательским учреждением и принимаемых тем или иным ведомством, а также просто конкретные научные публикации. Пример справочного издания (Нормы расхода известковых материалов ..., 1988), где приведены обобщенные нормативы, дифференцированные по регионам, почвам и угодьям, однако временной масштаб четко не определен: говорится лишь о том, что нормативы относятся к минимальным срокам достижения оптимальной кислотности.

Подобного рода нормативы изменений можно найти также для внесения гипса (изменяются содержание обменного натрия и физические свойства), органических и минеральных удобрений (содержание гумуса и подвижные формы элементов питания), для загрязнения почвы (подвижные формы загрязняющих веществ, в том числе, тяжелых металлов и радионуклидов), для распашки целинных почв (содержание гумуса) и др. Литература довольно обширна, правда, не всегда достаточно надежна и полноценна.

Представляет интерес вопрос об изменении динамики почвенных процессов в зависимости от характера внешнего воздействия. Здесь можно рассматривать два направления: 1) появляются ли новые процессы, которых не было в данной почве до воздействия (или исчезают имеющиеся), 2) ускоряются ли (или замедляются) уже известные в данной почве процессы. Кроме того, необходимо помнить, что в почвоведении выделяют макропроцессы и элементарные почвенные процессы. Надо определиться, какой из этих уровней преимущественно должен рассматриваться.

Говорить о появлении новых (исчезновении имеющихся) почвенных процессов можно, вероятно, при сильных воздействиях, выводящих почву из естественного режима функционирования. Сюда же можно отнести изменение направленности процессов. Это может быть оглеение при избыточном орошении или подтоп-

лении, срабатывание торфяной залежи при осушении (вместо торфонакопления), гибель почвенной биоты при высоком уровне загрязнения (с резким замедлением или прекращением гумусонакопления), разрушение агрегатной структуры почвы при орошении солеными водами и т.д. Нормативы в этом случае могут быть только качественными (появился процесс или исчез). По этим вопросам данные фрагментарны.

Изменение скорости почвенных процессов может происходить при не столь сильных воздействиях; например, регулярная вспашка и рыхление ускоряют окислительные процессы в почве. Но чаще одновременно изменяются скорости противоположно направленных процессов, и общий результат воздействия проявляется в изменении скорости круговорота веществ. Хотя имеется довольно обширная литература по круговороту и балансу веществ в земледелии, по круговороту веществ в глобальном масштабе (например, по парниковым газам), нормативы изменений их скоростей нам не известны. Некоторая информация по этим вопросам существует в опубликованных работах (Экологические требования к орошению..., 1996; Сдобникова, Мутерко, Попова, 1981; Методические указания по комплексному агрохимическому окультуриванию..., 1985; Литвак, 1990; Образцов, 1990; Сапожников, Прохоров, 1990; Уточкин, Чумаченко, Сушеница, 1997; Шаманаев, 2000; Спиридонов, Алтухова, Шестаков и др., 2004; Водопьянов, Киреева, Тарасенко, 2004; Чуб, Пронько, Потатурина и др., 2004; Кирпичников, Адрианов, Волосатова, 2004; Шильников, Аканова, Федотова, 2004; Сушеница, Капранов, Алиев и др., 2005).

Нормирование оценок временной динамики почвенных показателей

Прямые оценки скорости временной динамики почвенных показателей могли бы существовать в виде «медленная», «средняя», «быстрая», но таковые нам не известны. Правда, если рассматривать деградацию почв как оценку процесса (группы процессов) с точки зрения антропогенной деятельности, то можно говорить об оценках скорости деградации и об оценках устойчивости к деградации (чем ниже скорость деградации при одной и той же интенсивности воздействия, тем выше устойчивость к деградации). Приблизительно такой подход реализован при оценках деградации почв России по плодородию при кислотных и щелочных воздействиях (Фрид, Гребенников, 1999).

Чаще встречаются косвенные оценки через «допустимые нагрузки» на почву. Смысл «допустимости» в том, что рассматриваются те значения нагрузок, которые соответствуют условиям (ограничениям) поставленной задачи (Лопатников, 1987). Для почв под такими ограничениями обычно понимают ситуацию, когда значения почвенных показателей, изменяясь под действием нагрузки, не переходят некоторой заданной (предельной, критической) величины за достаточно длительное время. Тем самым предполагается, что со временем скорость изменения почвенного показателя под действием постоянной нагрузки не постоянна, а стремится к нулю (стабилизация значения показателя). На допустимые нагрузки (например, допустимые выбросы и сбросы из различных источников загрязнения) имеются официальные нормативы или официальные методики их расчета.

Так как способ оценивания временной динамики через допустимые нагрузки косвенный и предполагает стабилизацию почвенных показателей через более или менее длительное время, то он по-видимому не может охватить все возможные ситуации.

Необходимо также учесть, что такой подход фактически дает три градации в оценке – допустимую нагрузку, нагрузки меньше и больше допустимой, хотя удобнее иметь более дробные градации (хотя бы пять), как это делается при нормировании оценок статистики почвенных показателей.

Термин «допустимый» довольно часто используют как оценку значений самих почвенных показателей, однако большой необходимости в этом нет, так как для этих случаев существуют и другие системы оценок градаций почвенных показателей (см. раздел «Нормирование оценок значений почвенных показателей для различных приложений»), хотя термин ПДК широко используется. В результате, понятию «допустимого значения» почвенного показателя могут соответствовать различные значения в зависимости от выбранной системы оценок. Примером может служить работа Экологические требования к орошению..., 1996. Тем не менее, далее в настоящей работе понятие допустимого значения используется.

Нормирование точности определения почвенных показателей

Любое измерение сопровождается некоторой ошибкой, для характеристики которой используют те или иные статистические

Республиканская научная библиотека
Сибирского федерального университета
358714

метрологические параметры (стандартное отклонение, ошибка среднего, доверительный интервал, межквантильное расстояние, относительное стандартное отклонение, внутри- и межлабораторные допустимые расхождения и т.д.).

Нормирование точности определения показателя включает оценку погрешности результата измерения (близость к истинному значению), ту или иную оценку разброса нескольких параллельных измерений по конкретной методике вокруг среднего или медианы.

В настоящее время единственный способ оценки погрешности результата (в указанном выше смысле) при анализе почв — это сравнение со стандартными образцами почв, аттестованными по совокупности различных методов измерения и различных лабораторий. Аттестованные характеристики стандартных образцов почв являются официальными нормативами. Правда, таких отечественных стандартных образцов пока мало (несколько больше двух десятков), и они аттестованы на ограниченное число показателей.

Некоторые методы измерения почвенных показателей тоже стандартизованы (вошли в ГОСТы и ОСТы) и обязательно сопровождаются нормативами на разброс параллельных измерений.

В то же время многие другие методы измерения почвенных показателей в нашей стране не стандартизованы, и, если для них и получены нормативы, то они не являются официальными. Тем не менее, наличие официальных и неофициальных нормативов позволяет судить об уровне точности измерений и об уровне соответствующих выводов из них: количественные, полуколичественные, качественные измерения.

Для сравнения между собой результатов двух единичных измерений наиболее удобно использовать внутрилабораторные и межлабораторные допустимые расхождения, разработанные с заданным уровнем вероятности, или метрологические характеристики конкретных методов измерения, если процедуры последних строго стандартизованы. Если разница результатов двух единичных измерений не превышает эти метрологические оценки, то нет смысла говорить о каких-то других причинах этой разницы (пространственной, временной), кроме аналитической. Примеры нормативов по точности измерений опубликованы (Свидетельства на стандартные образцы...; ГОСТ 26204-84–26213-84; Метрологическое обеспечение аналитических работ..., 1988; Прохорова, Фрид, 1993; Фрид, 2006).

Заключение к обзору

Нормативы статистики и динамики почвенных показателей получают из экспериментальных данных, поэтому они носят вероятностный характер, даже если при их разработке не использовали анализ вероятностных распределений. Вероятностный характер нормативам придает явный или неявный учет ошибок измерения показателей, учет связи почвенных показателей с той или иной прикладной задачей, например, связи показателей плодородия с продуктивностью растений. Получение корректных нормативов для динамики почвенных показателей вообще невозможно без выбора той или иной динамической математической модели. И если модель выбрана неправильно, то повышается вероятность ошибки в определении норматива.

Одним из важных результатов настоящей работы должно стать выявление обеспеченности России нормативами по статике и динамике свойств почв и по их оценкам для различных приложений (в первую очередь, для классификации, плодородия и загрязнения почв). Для решения этой задачи необходимо выбрать конкретное районирование территории страны, уровень детализации в этом районировании и список основных почв в соответствующих выделах. Исходя из опыта работы в предыдущие годы и в настоящее время с Российским банком моделей плодородия «ПЛОМОД» (Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии), предлагается использовать природно-сельскохозяйственное районирование на уровне провинций (в более грубом варианте — административно-географические регионы внутри природных зон). Для земледельческих территорий страны списки основных почв по провинциям имеются (Методическое руководство по описанию моделей плодородия..., 1989), они могут быть при необходимости скорректированы и дополнены почвами неземледельческих территорий страны.

В банке «ПЛОМОД» уже собрано некоторое количество авторских нормативов изменения свойств почв в виде динамических моделей, моделей связи между почвенными показателями и антропогенными воздействиями, шкал обеспеченности растений факторами жизни.

Считаем, что способы получения нормативов изменения свойств почв и динамики почвенных процессов в настоящее время разработаны недостаточно (для нормативов статистики положение

значительно лучше). Поэтому параллельно со сбором имеющихся материалов требовалось разработать некоторую концепцию (методические подходы), которая способствовала бы разработке новых и корректированию уже имеющихся нормативов при согласованном понимании проблемы разными научно-исследовательскими учреждениями и специалистами. Этому вопросу посвящен следующий раздел настоящей работы.

В связи с законом «О техническом регулировании» можно отметить, что работа по нормативам статистики и динамики показателей свойств почв оказывается тесно связанной с разработкой (корректировкой) национальных стандартов по терминам для свойств почв и их показателей, по терминам для методов измерения этих показателей и по единицам измерения. Эти стандарты могут войти в общетехнические регламенты по обеспечению единства измерения, по экологической и радиационной безопасности. В эти же регламенты могут быть включены и сами нормативные значения статистики и динамики почвенных показателей, а, возможно, и их оценки (как справочные данные).

Для государственных информационных систем и межведомственного обмена информацией желательно доработать и утвердить классификаторы названий почв и то районирование, к которому будут привязаны разрабатываемые нормативы.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВОВ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА И ИНТЕНСИВНОСТИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Цель работы – наметить методические подходы к установлению допустимых пределов изменений структурно-функциональных свойств почв (нормативов), а также к разработке количественных (или качественных) оценок прогнозов изменений почвенных свойств в результате тех или иных антропогенных воздействий.

Терминология

Для обеспечения согласованной работы специалистов по названной проблеме, необходимо начать с трактовки основных терминов. В предыдущем разделе указано, что главная существующая проблема здесь – неопределенность, несмотря на немалое число соответствующих источников, включая ГОСТы. Трактовка предлагаемых ниже терминов дана по возможности с минимальной неопределенностью, из-за чего иногда они выглядят довольно громоздко.

Структурно-функциональные свойства почвы – свойства и состав почвы, обусловленные структурной организацией (на разных уровнях) почвенного профиля и почвенного покрова и связанные с происходящими в почвенном профиле и почвенном покрове различными процессами.

В первом приближении можно выделить следующие группы свойств и состава, отражающие их таксономическое положение и функции, на примере дерново-подзолистых почв:

- органическое вещество почв (мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, лабильного органического вещества и органического вещества легких фракций, С_{гк}: С_{фк} и т.д.);
- содержание и минералогический состав физической глины и ила в профиле почвы;
- степень смывости;
- глееватость в профиле почвы;
- уровень грунтовых вод;

- наличие фрагментов элювиального и глеевого горизонтов в пахотном слое;
- кислотность и обменные катионы (включая буферную способность);
- сорбционная способность;
- питательные вещества (обменные, подвижные, легкоподвижные, потенциалы, буферная способность и т.д.);
- физические и водно-физические свойства (плотность, агрегатный состав, водопроницаемость и т.д.);
- микробиологические и биохимические свойства;
- химическое и радиоактивное загрязнение;
- санитарная способность;
- для почвенного покрова с преобладанием дерново-подзолистых почв;
- состав, сложность и контрастность почвенного покрова;
- агроэкологическая группа.

Показатели плодородия для широкого набора почв даны в Перечне показателей..., 1981.

Трудность в формировании конкретного списка свойств и состава почв (почвенного покрова) и их показателей состоит в том, что они статистически тесно связаны между собой. Это обстоятельство является объективным источником избыточности в системе показателей. Чрезвычайное разнообразие компонентов экосистемы (и почвы) и связей между ними обеспечивает ее устойчивость в довольно широком диапазоне условий. К тому же в почве одновременно совершается очень много разнообразных микропроцессов, которые на современном уровне мы не можем пока распознать и выделить (Роде, 1976).

Трудности методического характера связаны с тем, что большинство связей в экосистеме (почве) изучают фактически в пассивном или смешанном (активно-пассивном) эксперименте, так как чисто активный эксперимент во многих случаях практически невозможен. Так, в опытах с удобрениями или мелиорантами изменяются не только те свойства и состав почвы, регулирование которых запланировано, но и множество других свойств и компонентов состава (кислотность, связывание других элементов, активность микроорганизмов и т.д.). В опытах по влиянию влажности почвы одновременно меняются температура, концентрация растворимых соединений, активность микроорганизмов и т.д. В ре-

зультате устанавливаемые взаимосвязи обычно носят вероятностный характер, а выявление детерминированной их составляющей зависит от степени привлечения фундаментальных представлений (законов) почвоведения, физики, химии, биологии и других наук.

В настоящее время предложено несколько подходов к решению этого вопроса (Фрид, 1990; Прохорова, Фрид, 1993):

а) системы показателей свойств и состава с той или иной степенью избыточности;

б) для узкого диапазона условий (регион, почва, культура) даются варианты минимальных систем показателей свойств и состава в предположении, что влияние (изменение) других показателей несущественно;

в) выделяют первичные (или базовые) показатели свойств и состава, относительно независимые между собой. Остальная масса показателей (вторичных) считается функцией первичных и может рассчитываться из них (педотрансферные функции). Этот путь перспективен, но изучен лишь фрагментарно. К первичным почвенно-экологическим показателям ориентировочно можно отнести, например, показатели валового и минералогического состава почвы и ее органического вещества с учетом профильного строения почвы и подстилающей породы, температуру воздуха, количество выпадающих из атмосферы на почву веществ, солнечную радиацию;

г) подход, противоположный предыдущему, состоит в выделении обобщенных показателей, интегрирующих влияние целой группы вторичных показателей. Например, по Макарову (1988), дыхание почвы учитывает совокупность проявления всех физических, физико-химических и биологических свойств почвы и растет с увеличением урожайности (с приближением свойств почв к оптимальным значениям для культуры). По Медведеву (1988), структура и плотность сложения почв являются основными показателями, определяющими их физические свойства и режимы и оказывающими решающее влияние на урожай.

Антропогенные воздействия – влияние деятельности человека на почвенный покров (и составляющие его почвы).

Агротехнологии – одно из направлений антропогенных воздействий. Элементы агротехнологий, наиболее существенно влияющие на свойства почв и почвенные процессы: тип и вид севооборота с соответствующими механическими обработками почвы, орошение и осушение, химическая мелиорация, минеральные и

органические удобрения, а также загрязнение почвы, причем оно может быть как внешним (выпадения на поверхность почвы), так и одним из элементов агротехнологий (применение пестицидов, использование различных промышленных отходов в качестве удобрения).

Нормативы изменений свойств почв могут рассматриваться в двух смыслах: первый – допустимые границы изменений показателей структурно-функциональных свойств почв и почвенного покрова, в пределах которых почва (почвенный покров) либо не меняют своего таксономического положения, либо продуктивность агроэкосистем не становится ниже 20% от оптимальной, либо загрязнение почвы и сельскохозяйственной продукции не превышает существующих государственных нормативов (ПДК, МДУ и т.п.). Возможна увязка допустимых границ со степенями деградации и окультуривания почв (если они установлены). Допустимые границы, увязанные с деградационными процессами, могут соответствовать средней степени деградации. Второй смысл нормативов изменений связан с временным прогнозом, о чем сказано ниже.

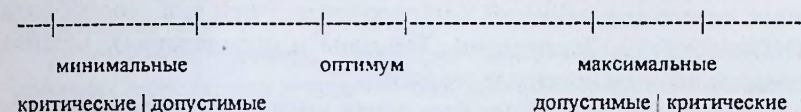
Критические границы изменений показателей предлагаются в качестве дополнительных нормативов изменений свойств почв, при которых деградационные процессы приводят к (условно) необратимым изменениям, и дальнейшее использование почв для получения растительной продукции нерационально. Для восстановления таких почв требуются дорогостоящие коренные мелиоративные мероприятия или рекультивация почв (земель). Критические границы могут соответствовать сильной степени деградации.

Наряду с допустимыми и критическими границами (нижними и верхними) теоретический и практический интерес представляют и оптимальные значения почвенных показателей (оптимальные параметры), разработка которых началась значительно раньше (см. например (Рабочев, Королева, 1985)). Критерием оптимальности должна выступать только потребность растений. Экономические, природоохранные и другие критерии должны использоваться в моделях управления (агротехнологиях). Поэтому под *оптимальными значениями почвенного показателя* будем понимать такие, которые обеспечивают максимальную продуктивность при хорошем качестве растительной продукции. Лучше, если оптимальные значения показателя находят при оптимальных условиях по всем другим факторам плодородия, но практически уровни значений других факторов, как минимум, должны быть зафиксированы

(указаны). К последним относятся, в первую очередь, труднорегулируемые почвенно-климатические условия. Конечно, оптимальные значения зависят от сельскохозяйственной культуры, сорта, севооборота и т.д.

Разработанные нормативы могут быть приняты на государственном уровне, ведомственном уровне или оставаться научными рекомендациями.

Соотношение между указанными категориями границ на шкале возможных значений показателя показано на следующей схеме:



Прогноз результатов антропогенных воздействий – количественная оценка изменений структурно-функциональных свойств почв при заданном начальном значении и при заданной интенсивности воздействия в конкретном масштабе времени.

*Концепция методических подходов к разработке
нормативов изменения свойств почв*

1. Большая и разнообразная по почвенно-климатическим условиям территория России требует наложения некоторых ограничений на объем работы как в географическом, так и в почвенном плане. Для этого предлагается использовать существующее природно-сельскохозяйственное районирование (Природно-сельскохозяйственное..., 1975, 1983) и перечень основных почв земледельческого использования (Методическое руководство по описанию моделей..., 1989). В настоящей работе мы ограничились европейской территорией России (ЕТР) и основными пахотными почвами как наиболее изученными. В дальнейшем работа может быть продолжена для азиатской территории России и для других почв.

Следует оценить также степень обеспеченности территории России соответствующими нормативами в настоящее время и указать конкретные районы дальнейших исследований.

2. Изменение почвенных свойств в разных временных масштабах могут быть: краткосрочным – от секунд до 2–3 недель, сезонным – от 2–3 недель до 2–4 месяцев, годовым – от одного до нескольких календарных лет, многолетним – от одного до нескольких десятков лет, вековым – от одного до нескольких веков и т.д.

И в научном, и в практическом плане для разработки нормативов интерес представляют все временные масштабы, так как продолжительность антропогенных воздействий и их последствий изменяется также в широком временном диапазоне, а воздействия глобальных изменений климата (если не рассматривать катастрофы от кратковременных сверхсильных воздействий) вполне могут соответствовать многолетнему и/или вековому масштабам.

3. Среди множества антропогенных воздействий на почвы основное внимание следует обратить на агротехнологии (обработку почвы, внесение удобрений и мелиорантов, тип и вид севооборота (ГОСТ 16265-89. Земледелие. Термины и определения), водные мелиорации) и техногенные загрязнения.

4. Результаты воздействия на почву могут быть обратимыми и необратимыми в заданном масштабе времени и при заданной системе функционирования (использования) почвы. При разработке прогнозов изменения необходимо учитывать большее или меньшее отставание по времени (запаздывание) изменения свойства и состава почвы от времени воздействия. Прогнозы обратимых изменений свойств и состава почв остаются справедливыми при повторяющихся воздействиях. Прогнозы для практически необратимых изменений могут быть более сложными. При наличии заметного гистерезиса в изменении свойств и состава почвы прогнозы изменений будут зависеть от направления самих изменений.

5. В каком бы временном масштабе не оценивались прогнозы изменений по экспериментальным данным, эти прогнозы всегда будут носить вероятностный характер. Это обусловлено как ошибками измерения почвенных показателей и воздействий на них, так и естественным пространственно-временным варьированием и оцениваемых показателей, и других, не учитываемых, факторов.

В результате реально измеряемое изменение почвенного показателя в заданном масштабе времени представляет собой сочетание временных колебаний и некоторой временной тенденции. Оценка последней открывает путь к расчету искомого прогноза изменения, так как колебания, связанные с вышеуказанными причинами, в данном случае можно отнести к шуму.

Из вероятностного характера прогнозных оценок следует и то, что они чаще всего должны быть представлены в виде интервалов значений. Естественно, что и допустимые границы изменений свойств и состава почв могут и должны быть представлены в виде

интервалов значений. Даже если такие интервалы не разработаны, то их существование предполагается.

6. Объективная оценка нормативов изменения свойств и состава почв и прогнозов их изменения от различных воздействий по опытным данным требует, во-первых, определенных правил сбора этих данных и, во-вторых, определенных правил их анализа. К сожалению, авторы большинства имеющихся в настоящее время публикаций обсуждаемых нормативов и прогнозов не всегда сообщают относящуюся к этим правилам информацию, и доверие к публикации зависит от субъективного мнения читателя.

Допустимые границы изменений свойств и состава почв, как правило, определяют путем обобщения непосредственных экспериментальных данных и их экспертной оценки. Таковы границы таксономического варьирования, границы интервалов в шкалах обеспеченности растений по тому или иному показателю, ПДК (ОДК) загрязняющих веществ. Для показателей плодородия почв при обобщении опытных данных часто используют и эмпирические зависимости в виде регрессионных уравнений или графиков.

Аналогичным образом определяют и оптимальные значения показателей плодородия, необходимые разработчикам агротехнологий для более точного позиционирования фактических (измеренных) значений почвенных показателей (ниже или выше оптимальных).

7. При разработке прогнозных моделей результатов антропогенных воздействий выборка опытных данных должна формироваться не только с четкой привязкой ее к региону, почве и интенсивности конкретного воздействия, но и должна позволять отделить тенденцию (тренд) от шума в изучаемом временном масштабе. Чтобы осуществить последнее, измерения должны производиться с временным шагом, заметно меньшим, чем временной масштаб опыта. Распространенный подход к измерению показателей свойств и состава почвы в начале и конце опыта (или ротации севооборота) очень ненадежен, так как не позволяет отделить тенденцию от шума. Только в тех нечасто встречающихся случаях, когда тренд показателя во временном масштабе опыта заведомо однонаправлен, линейен и значительно превышает шумовые колебания, оценка прогноза изменения при таких измерениях более или менее объективна. Обычно эти условия заранее не известны, или известно, что они не выполняются. Таким образом, выборка опытных данных должна представлять собой более или менее

длинный временной ряд измерений, желательно с постоянным шагом, или несколько более коротких рядов, образованных вариантами опыта с разной интенсивностью одного и того же воздействия.

Анализ подобного ряда (рядов) измерений направлен на то, чтобы выделить из него достоверную временную тенденцию, которая, как сказано выше, и дает возможность прогноза изменения показателя свойства и состава почвы. Для решения этой задачи используют ту или иную математическую модель.

Надо иметь в виду, что и разовые, и систематические воздействия часто через некоторое время могут приводить к стабилизации значения показателя свойства и состава почвы, т.е. к некоторому динамическому равновесию между антропогенным воздействием и противодействующими (иногда не очень известными) механизмами сопротивления почвы как системы. В таких ситуациях скорость изменения свойства и состава почвы не может быть постоянной – она уменьшается при приближении к этому равновесию (уровню стабилизации), которое само может определяться интенсивностью антропогенного воздействия. При постоянном или повторяющемся воздействии возможен и кумулятивный эффект, когда показатель почвенного свойства и состава изменяется с более или менее постоянным трендом.

Если интенсивность воздействия столь велика, что в данном масштабе времени превышает сопротивляемость почвы, то почвенная система начинает разрушаться, возникают бифуркации.

Опыт показывает, что для анализа требуемых здесь опытных данных можно рекомендовать две группы методов:

а) методы анализа временных рядов (достаточно длинных – не менее 2–3 десятков временных шагов) с контролем правильности выделенного тренда по корреляционной функции для отклонений от тренда; тренд может быть выделен сочетанием сглаживания (в том числе графического) с построением регрессионной зависимости показателя от времени (линейной или нелинейной). Эти процедуры не дают непосредственно нужную оценку прогноза изменения, так как найденный временной тренд лишь фиксирует достоверность изменения; для получения оценки прогноза этот тренд надо сопоставить с интенсивностью воздействия и доказать их взаимосвязь хотя бы статистически (в том числе, применив второй метод, описываемый далее).

б) описание реальной зависимости разностным аналогом дифференциального уравнения типа (Фрид, Прохорова, 1986; Прохорова, Фрид, Шуватова, 1989)

$$\Delta Y_i = a \cdot Y_{i-1} + b \cdot \Phi_i + c \cdot f_i(\dots) + d,$$

где ΔY_i – изменение значения показателя между сроками измерения (i) и ($i-1$), Y_{i-1} – значение показателя в срок измерения ($i-1$), Φ_i – величина интенсивности воздействия в срок (i), $f_i(\dots)$ – функция прочих факторов и взаимодействий для i -го срока, предположительно влияющих на значение показателя. Если имеет место запаздывание между сроком воздействия и изменением показателя, превышающее временной шаг измерения, то в модель добавляют члены с Φ_{i-1} , Y_{i-2} , Φ_{i-2} , Y_{i-3} и т.д. С помощью стандартного регрессионного анализа оценивают значения коэффициентов a , b , c , d , подтверждая, как основную закономерность, так и выявляя наиболее точный и значимый вариант модели.

В этой модели наличие шума отражается на ее значимости в целом и значимости коэффициентов регрессии; в то же время, чем больше учтено влияющих факторов, тем меньше становится вклад шума. Эта модель позволяет проверить и нелинейные функции для факторов; при определенных сочетаниях знаков коэффициентов регрессии модель позволяет описать как стабилизацию показателя (приближение к динамическому равновесию), так и кумулятивный эффект (непрерывное изменение), а также неравноценность действия и последствий изучаемого воздействия.

В случае успеха модель позволяет рассчитать серию оценок прогноза изменения показателя (ΔY_i) для различных уровней самого показателя (Y_{i-1}) и различных интенсивностей воздействий (Φ_i). Модель позволяет также увязать прогноз изменения показателя со значениями показателей базовых свойств и состава почв и экосистем, что дает возможность расширить ареал применимости конкретной модели.

8. Следует упомянуть также об имитационных динамических моделях агроэкосистем, которые при учете различных антропогенных воздействий и изменений климата, в принципе, позволяют рассчитать как границы допустимых изменений структурно-функциональных свойств почв, так и дать прогнозы временных изменений путем имитации различных гипотетических ситуаций.

9. Таким образом, нормативы изменений свойств и состава почв, а также оценки прогноза могут быть взяты из некоторых публикаций, получены заново путем анализа опубликованных или

собственных архивных опытных данных. В случае обобщения результатов из нескольких источников авторы могут не указываться (нормативы, предложенные отдельными авторами, могут быть указаны в приложениях).

В описании нормативов должны быть указаны: единица природно-сельскохозяйственного районирования, название почвы, временной масштаб, значения фоновых (неизменных) показателей свойств почвы, допустимые границы изменения показателя свойства почвы и его оптимальные значения. Далее идут модели прогноза изменения данного показателя от того или иного антропогенного воздействия в изученном диапазоне условий в виде математических формул, конкретных цифровых таблиц или графиков.

Комплексная оценка антропогенных воздействий

Каждое антропогенное воздействие может оказывать влияние не на одно свойство или компонент состава почвы (тем более, не на один показатель конкретного свойства), не на один почвенный процесс, а на целую группу почвенных свойств и процессов. Это является одной из причин наличия известных статистических взаимосвязей почвенных показателей, о чем говорилось выше. Так, увеличение глубины пахотного слоя приводит к изменению его состава и свойств, состава и свойств подпахотного слоя, изменению некоторых почвенных процессов.

Для моделей прогноза комплексность оценок можно упрощенно отразить двумя способами. Первый способ – группирование моделей для разных воздействий по отдельным почвенным показателям и процессам, что позволяет быстрее найти варианты воздействий для того или другого изменения конкретного показателя. Второй способ – группирование моделей для разных показателей по отдельным антропогенным воздействиям или комплексам воздействий, что позволит непосредственно показать совместно все оцененные результаты конкретного воздействия на свойства и состав почвы и почвенные процессы.

К сожалению, в данной монографии из-за недостатка имеющихся данных ни один из способов группировки реализовать не удалось.

3. ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВОВ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОЧВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Источниками информации при разработке нормативов служили опубликованные работы различных авторов, упомянутый выше Российский банк моделей плодородия «ПЛОМОД», а также собственные архивные данные авторов книги. Необходимо отметить, что многочисленность источников не гарантировала легкости в разработке нормативов и их полноты. Многие источники противоречили друг другу и не могли быть использованы без экспертного анализа их пригодности, что вполне объяснимо теми методическими трудностями, которые изложены в предыдущем разделе. Но и согласующиеся между собой данные требовали массы трудов по обобщению в рамках принятой в работе дифференциации по провинциям природно-сельскохозяйственного районирования и почвам с учетом гранулометрического состава последних. По этой причине в разделе 4 приводятся лишь обобщенные данные, а в книге не представлено полного списка рассмотренных источников. На данном этапе работы не удалось подготовить нормативы для всех возможных зонально-провинциальных выделов и основных почв. Это может стать предметом дальнейших исследований.

3.1. Таксономические границы пахотных почв

Конкретизация значений показателей для почвенных таксонов должна позволить оценить, произошел ли переход почвы из одного таксона в другой при тех или иных антропогенных воздействиях (в том числе, агротехнологиях). Переход от естественной почвы к пахотной можно рассматривать как тривиальный (само собой разумеющийся); больший интерес представляют переходы во времени от таксона к таксону внутри пахотных почв.

Далее представлены некоторые характеристики таксонов пахотных почв, как они определены в классификациях 1977 (Классификация и диагностика ..., 1977) и 2004 (Классификация и диагностика ..., 2004; Полевой определитель ..., 2008) годов, а также в публикации Ф.И. Козловского (1998, 2003). В последней приведены архетипы пахотных почв, т.е. такие их состояния, которые создаются в климаксных пахотных почвах (исключая сильно

окультуренные и огородные). Кроме таксономических границ, остальные нормативы привязаны к названиям почв по классификации 1977 г.

Набор представленных характеристик (показателей) обусловлен как степенью разработанности диагностики таксонов, так и поставленной задачей настоящей работы.

3.2. Органическое вещество пахотных почв

Проблема необходимого и достаточного обеспечения пахотных почв органическим веществом приобретает все большую актуальность в связи с нарушением естественных процессов в биосфере (Почвоведение на рубеже веков, 2000) и задачей оптимизации управления им для достижения устойчивого и экологически безопасного земледелия (Титова и др., 2000).

В пределах допустимого диапазона изменений содержания гумуса вполне реальна задача его регулирования на нормативной основе. С позиций агроэкологии стратегия внесения органических удобрений при условии их ограниченных ресурсов должна быть направлена на удобрение наиболее выпаханных почв. С другой стороны, слишком высокое содержание гумуса может быть экологически и экономически невыгодным, поскольку неизбежно связано с активным высвобождением азота, особенно в периоды, когда он не может быть использован растениями (Кёршенс и др., 2002) и, следовательно, с загрязнением окружающей среды. По этой причине допустимые значения обеспеченности почв гумусом могут иметь верхнюю границу.

Для разработки нормативных значений руководствовались следующими предложениями различных авторов: минимальным (Körschens, 1980), максимальным (сильногумусированным) (Когут, 1998; Когут, Шишов, 2005) и оптимальным (Кёршенс, Шульц, 2005) уровнями содержания гумуса.

Что же собой представляет величина минимального содержания гумуса? В соответствии с Кёршенсом (Кёршенс, 1992) содержание органического углерода почвы состоит из инертного, практически не участвующего в процессах превращения, и трансформируемого органического углерода. Инертная фракция в основном зависит от условий местообитания (содержание ила и мелкой пыли, климата), а разлагаемая, которая легко трансформируется в почвах – от условий хозяйствования. Содержание инертного гумуса близко понятию минимального, которое можно определить в

неудобренных почвах с высоким насыщением пропашными культурами или, наиболее правильно, в условиях бессменного чистого парования.

Поскольку длительных полевых опытов с чистым бессменным паром крайне недостаточно, предложены расчетный (Körschens, 1980; Дьяконова, 1990) и эмпирический (Когут, 1996) способы определения минимального содержания гумуса. Согласно Дьяконовой (1990), эта величина равна произведению значения содержания физической глины в почве на экспериментально найденный расчетный коэффициент, который для дерново-подзолистых почв центра Нечерноземья составляет 0.04–0.045. На величину минимального содержания гумуса черноземов с общим содержанием гумуса в пахотном слое больше 3–4% могут существенно влиять и другие факторы, в частности гидротермические показатели. В таких условиях погрешности расчетного коэффициента, вероятно, окажутся достаточно высокими, что исключает возможность его использования для почв с такими и большими величинами содержания гумуса.

По данным эмпирического обобщения, при бессменном паровании почв минимальное содержание гумуса в пахотном слое черноземов с мощностью аккумулятивно-гумусового горизонта больше 70 см в первом приближении равно его реальному содержанию в слое 30–50 см целинных и пахотных типичных и выщелоченных черноземов Центрально-Черноземного региона. Очевидно, в эти слои поступает минимальное количество корневой фитомассы, приводящее к формированию одинаковых запасов гумуса (Когут, 1996).

По нашему мнению, несмотря на имеющиеся косвенные экспресс-методы, для более точной оценки величин минимального содержания гумуса его следует определять в длительных опытах с бессменными чистыми парами. Учитывая, что в абсолютном большинстве длительных полевых опытов России варианты с бессменным чистым паром не предусмотрены, считаем целесообразным их незамедлительную закладку. Варианты с бессменным чистым паром могут быть заложены на старопахотной почве, находящейся вблизи стационара с многолетними опытами. Через 10–15 лет парования в этой почве произойдет потеря основных трансформируемых запасов органического вещества, и содержание гумуса в ней установится на уровне, достаточно близком к минимальному (инертному).

Б.М. Когутом (Когут, 1998) для верхнего слоя черноземов (0–30 см) введено понятие максимального содержания гумуса, которое устанавливается в почве в естественных условиях, когда растительная масса не отчуждается, что соответствует целине. Кроме того, для пахотного слоя предложена градация «сильногумусированные», к которой относятся пахотные почвы, близкие по содержанию гумуса к целинным (Методические указания по проведению ..., 2003; Когут, Шишов, 2005).

В основу определения значений оптимального содержания гумуса положены предложения М. Кёршенса и Э. Шульца (Кёршенс, Шульц, 2005), учитывающие количество легкоразлагаемого органического вещества в почвах Германии. Согласно этим авторам, содержание органического углерода и азота в этой фракции имеет относительно узкие экологические пределы, которые составляют для условий Германии в обычных для практики системах земледелия 0.2–0.6% разлагаемого органического углерода и 0.02–0.06% разлагаемого азота. Тогда оптимальное содержание гумуса складывается из суммы значений минимального содержания гумуса и оптимального количества легкоразлагаемого органического вещества. При содержании их ниже этих величин плодородие почвы, урожайность сельскохозяйственных культур и ассимиляция CO_2 в растительной биомассе являются недостаточными, при более высоком содержании наблюдаются потери органического вещества и загрязнение окружающей среды.

В таблицах (раздел 4) представлены значения для минимально допустимых, оптимальных и максимально допустимых градаций содержания гумуса для пахотных почв ЕТР. Вероятные диапазоны значений содержания гумуса, согласно А.С. Фриду и В.А. Большакову (1988), строили на основании величин межлабораторных допустимых расхождений. Величины оптимальных уровней содержания гумуса получали суммированием верхнего значения минимально допустимого содержания гумуса и оптимального количества легкоразлагаемого органического вещества, скорректированного с учетом более широкого набора почв России по сравнению с Германией. Максимально допустимые значения содержания гумуса соответствовали величинам максимальных или сильногумусированных уровней содержания гумуса (Когут, 1996; Когут, Шишов, 1995).

3.3. Агрохимические и физико-химические показатели пахотных почв

Реакция почвенной среды

Кислотность (щелочность) почвы характеризуется обычно целой группой показателей: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (актуальная) и pH_{KCl} (обменная), гидролитическая кислотность (Hr), содержание обменных оснований (S), степень насыщенности основаниями (V) и др. В литературе встречается довольно много информации об оптимальных значениях этих показателей, но практически нет информации о минимальных и максимальных допустимых значениях. Опосредованно о последних можно было бы судить по диапазонам физиологической толерантности растений, определенным по pH водных растворов, но последние довольно сложно сопоставить даже с $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ почв, не говоря о других показателях. Поэтому в качестве минимальных и максимальных допустимых значений приходится предполагать либо «очень сильноокислые почвы» (которые используются в земледелии), либо почвы с очень сильной нуждаемостью в известковании (подкислении), либо расчетные величины по небольшому числу найденных в литературе математических моделей для урожайности. Для максимальных допустимых значений имеется только единичная расчетная информация, но дело облегчается тем, что при $\text{pH} > 7$ большинство показателей кислотности почв (кроме $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) теряют свою информативность.

Из литературных данных видно, что минимальное допустимое значение pH_{KCl} встречается в диапазоне от 3.9 до 5.6 в зависимости от гранулометрического состава почвы, выращиваемой культуры и региона, а максимальное допустимое – от >5.9 до 7.5; таким образом, разброс значений достаточно широкий. Для обменных катионов более информативной величиной является доля от емкости катионного обмена (ЕКО), чем абсолютное значение, которое должно сильнее зависеть от гранулометрического состава и содержания гумуса.

Для оптимальных значений показателей кислотности (щелочности) (с точки зрения плодородия) диапазон варьирования тоже значителен, так как зависит еще и от вида растений.

Известно, что основным воздействием, регулирующим кислотность почвы, является внесение тех или иных известковых мате-

риалов. В земледелии, как правило, используют периодическое известкование с интервалом в то или иное число лет. После известкования в течение первых 2–3 лет кислотность почвы обычно уменьшается, а затем начинает вновь увеличиваться с той или иной скоростью. Для прогноза результатов известкования использованы источники информации двух видов: 1) прямые количественные оценки авторов публикаций, 2) расчеты по динамическим математическим моделям, разработанным либо авторами публикаций, либо исполнителями данной работы по опубликованным экспериментальным данным. Необходимо отметить, что при расчетах прогноза по математическим моделям здесь и для других показателей были учтены области определения каждой модели (т.е. не брались те результаты расчета, которые не имели физического смысла или не были охвачены экспериментом при разработке соответствующей модели). С этим связано то обстоятельство, что в работе приводятся не сами математические модели, а только результаты расчетов по ним.

Если рассматривать известные кривые титрования водных суспензий почв кислотой или щелочью, то можно было ожидать, что с уменьшением начальной кислотности почвы требуемые дозы известки для изменения pH_{KCl} почвы на 0.1 будут уменьшаться. Подтверждающие эти ожидания экспериментальные данные приведены, например, в работе Небольсинных (Небольсин, Небольсина, 2005). Однако данные из ряда работ (Агеев и др., 1991; Нормы и нормативы..., 1988), широко представляющих разные регионы, противоречат указанной закономерности и могут рассматриваться как сомнительные. В настоящей работе приведена характеристика наиболее правдоподобных, по нашему мнению, прогнозов изменения показателей кислотности почв.

Засоленность и щелочность почвы

Обычно эти показатели имеют значение для почв южных регионов, что нашло свое отражение в разделе 4. Однако в условиях развитого техногенеза и засоление, и щелочность могут встречаться и севернее при интенсивном загрязнении пахотных почв различными отходами. Тем не менее, данных для разработки нормативов в этих условиях пока недостаточно.

Азот почвы

Роль соединений азота в почве обычно рассматривают с точки зрения плодородия и агроэкологии. Методы определения различных фракций азота почвы хорошо разработаны в агрохимии и представлены в любом агрохимическом руководстве. Основная масса азота почвы находится в органическом веществе, из которого азот освобождается в процессе минерализации, становясь доступным для растений. Одновременно в виде органических остатков и в результате жизнедеятельности микроорганизмов органический азот вновь попадает в почву или образуется в ней.

Трудность нормирования показателей для азота почвы в зонах достаточного увлажнения состоит в том, что круговорот соединений азота в них происходит довольно быстро. Поэтому в этих условиях пытаются нормировать потенциально доступный для растений азот (гидролизуемые фракции), или нормируют только дозы азотных удобрений. В зонах недостаточного увлажнения круговорот соединений азота происходит медленнее, и там пытаются нормировать содержание минеральных форм азота в почве.

Экологические требования к загрязнению растительной продукции могут быть одним из критериев для обоснования максимально допустимого содержания нитратов в почве.

Подвижный фосфор почвы

Для разработки нормативных значений использовано три подхода: 1) имеющиеся в литературе шкалы обеспеченности растений (если в них известны градации сильного отклонения от оптимума); 2) градация очень низкого содержания, используемая в Агрохимической службе (Методические указания по проведению..., 2003) и 3) расчетные значения по имеющимся моделям продуктивности, соответствующие 20% от продуктивности в оптимуме.

Оптимальное содержание подвижных фосфатов почвы очень сильно варьирует в зависимости от региона, культуры, вида и разновидности почв. Информация о минимальных допустимых и особенно максимальных допустимых содержаниях весьма незначительна, причем значения первых тоже сильно варьируют. Необходимо иметь в виду, что благоприятный уровень содержания подвижного фосфора в почве важен не только для питания расте-

ний самим фосфором, но и для эффективного применения азотно-калийных удобрений.

Величина максимального допустимого содержания подвижного фосфора почвы с точки зрения продуктивности культур вообще довольно неопределенна, так как редки случаи, когда бы продуктивность резко падала при больших содержаниях подвижных фосфатов в почве. Здесь ограничителем начинает выступать экологическая сторона вопроса – резкое возрастание миграционных потерь фосфора в грунтовые и поверхностные воды с ухудшением их качества и снижение качества растениеводческой продукции из-за нарушения сбалансированности питания. Однако конкретной количественной информации по этому вопросу нами почти не найдено.

Известно, что основным воздействием, регулирующим содержание подвижных фосфатов почвы, является внесение фосфорных удобрений. Известно также, что при положительном хозяйственном балансе фосфора можно ожидать роста содержания подвижных фосфатов почвы, а при отрицательном балансе – уменьшение содержания (Круговорот и баланс..., 1979). Как правило, достижение оптимального содержания фосфора в почве возможно при длительном применении фосфорных удобрений в дозах, примерно в 2 раза превышающих вынос фосфора из почвы с урожаями, т.е. при сильно положительном (интенсивном) балансе (Кораблева, 1981). Характер баланса фосфора отражен нами указаниями «сверх выноса урожая», «прирост» или «агроистощение (убыль)» содержания в почве.

В большинстве случаев выполняются закономерности: чем выше начальное содержание подвижных фосфатов почвы, тем выше должна быть доза удобрения для повышения содержания на одну и ту же величину и выше может быть доза удобрения, при которой начинается агроистощение (Королева, 2002, 2008). Первая закономерность говорит о накоплении подвижных фосфатов почвы с замедлением (а не линейно), вторая – прямо отражает имеющиеся в агрохимии балансовые представления, о которых сказано выше. В этой связи часто предлагаемые дозы внесения удобрений, не привязанные к имеющемуся содержанию в почве и ко времени действия предлагаемой дозы, представляются нам слишком обобщенными.

В то же время нельзя не отметить определенной аналогии между изменением содержания подвижных фосфатов почвы при вне-

сении удобрений и кривыми сорбции фосфатов почвой при определении потенциальной буферной способности (Агрохимические методы..., 1975; Канунникова, 1986). Кривые сорбции обычно имеют линейный участок, большей или меньшей длины, причем в реальном диапазоне доз внесения удобрений линейная зависимость может сохраняться. Хотя подобные опыты проводятся в лабораторных условиях, можно предположить существование линейного участка (постоянства дозы независимо от начального содержания) и в полевых условиях.

С другой стороны, имеются данные, что при агроистощении содержание подвижных фосфатов почвы может не опускаться ниже определенного уровня (Христенко, 2004), следовательно, при приближении к нему можно ожидать уменьшения скорости падения их содержания. В опытах по десорбции фосфатов линейность изменений также нарушается (Агрохимические методы..., 1975; Канунникова, 1986).

Подвижный (обменный) калий почвы

Для разработки нормативных значений использовано (как и для подвижного фосфора) три подхода: 1) имеющиеся в литературе шкалы обеспеченности растений (если в них представлены градации сильного отклонения от оптимума), 2) градация очень низкого содержания, используемая в Агрохимической службе (Методические указания..., 2003) и 3) расчетные значения по имеющимся моделям продуктивности, соответствующие 20% от продуктивности в оптимуме.

Величина максимального допустимого содержания подвижного (обменного) калия почвы с точки зрения продуктивности культур вообще довольно неопределенна, поскольку случаи, когда продуктивность резко падает при большом содержании подвижного (обменного) калия почвы весьма редки. Здесь (как и в случае с подвижным фосфором) ограничителем начинает выступать экологическая сторона вопроса – резкое возрастание миграционных потерь калия в грунтовые и поверхностные воды с ухудшением качества вод, а также снижение качества растениеводческой продукции из-за нарушения сбалансированности питания. Однако конкретной количественной информации нами практически не найдено.

Известно, что основным воздействием, регулирующим содержание подвижного (обменного) калия почвы, является внесение калийных удобрений.

В то же время, как и в случае с подвижными фосфатами почвы, нельзя не отметить определенной аналогии между изменением содержания подвижного (обменного) калия почвы при внесении удобрений и кривыми сорбции калия почвами при определении потенциальной буферной способности (Агрохимические методы..., 1975; Канунникова, 1986).

3.4. Физические показатели почв

Введение

Физическое состояние почв во многом определяет их плодородие и устойчивость к антропогенным воздействиям.

Первая, наиболее полная оценка основных физических свойств почв в агрономических целях дана в работах Н.А. Качинского (1958, 1965). Позднее появились работы по оценке отдельных физических свойств Н.Ф. Добрякова, С.И. Долгова, П.У. Бахтина, И.Б. Ревута, В.Н. Димо, А.Г. Бондарева, И.В. Кузнецовой, В.В. Медведева, Е.В. Шеина и некоторых других исследователей.

В 1990–2000-е гг. в нашей стране и во всем мире (через 15–20 лет после начала использования на полях современной тяжелой техники) остро встает вопрос о деградации пахотных почв, в том числе и физической деградации. Появляются работы по оценке степени деградации физических свойств: В.В. Снакина с соавт. (1992), В.Н. Шепухова с соавт. (1997) и др. В этот период в лаборатории физики и механики почв Почвенного института им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии ведутся разработки оптимальных параметров физических свойств основных почв ЕТР и их изменения при разных степенях деградации, а затем – и по степени устойчивости почв к физической деградации (Бондарев, Кузнецова, Тихонравова, Сапожников, Уткаева, 1989–2000).

В настоящее время в странах с интенсивным земледелием проблема переуплотнения почв сельскохозяйственной техникой выдвигается на одно из первых мест в ряду негативных последствий антропогенных воздействий на почву. Результатом существенного уплотнения пахотного и подпахотного слоев почв является снижение урожайности сельскохозяйственных культур, которое отмечается не только в год уплотнения, но и в последующие несколько лет (Переуплотнение пахотных почв, 1987; Бондарев и

др., 1994). Встает вопрос о прогнозе влияния уплотняющего воздействия тяжелой сельскохозяйственной техники на физические свойства пахотных почв и урожай сельскохозяйственных культур.

Нормативы изменения физических свойств почв в зависимости от характера и интенсивности антропогенного воздействия позволяют оценить физическое состояние почв и наметить агротехнологические, организационные и мелиоративные мероприятия для оптимизации этих свойств. Они могут быть использованы для определения эволюции физического состояния почв в результате длительного сельскохозяйственного использования, для разработки экологически безопасных технологий и их внедрения в адаптивно-ландшафтные системы земледелия, а также для проектно-конструкторских работ в сельскохозяйственном машиностроении и т.д.

Нормативы изменения физических свойств пахотных почв ЕТР были разработаны для почв, подвергающихся комплексному антропогенному и природному воздействию, оказывающему наиболее мощное влияние на свойства пахотного слоя. Эти воздействия включают механическую обработку почвы, влияние движителей сельскохозяйственной техники, тип и вид севооборотов и особенности агротехники возделываемых в исследуемых зонах сельскохозяйственных культур. К естественным воздействиям относятся процессы увлажнения и высыхания почв, замерзания и оттаивания, минерализации и гумификации органического вещества, эрозии и т.д.

Нормативы разработаны для почв тяжелого гранулометрического состава – средних, тяжелых суглинков и легких глин, наиболее распространенных на европейской территории России и занимающих более 70% площади всех пахотных почв.

При разработке нормативов физических свойств и их изменений учитывались основные свойства почвы – гранулометрический и минералогический составы, содержание и качественный состав органического вещества, которые определяют физические и механические свойства почв. Кроме того, учитывались мощность гумусированного слоя, почвообразующие породы, климатические условия зоны исследования и мн. др.

Параметры физических свойств почв представлены в виде интервалов величин, которые учитывают пространственное варьирование значений показателей в зависимости от гранулометрическо-

го состава, содержания органического вещества, требований разных групп сельскохозяйственных растений к данному показателю и т.д.

Методика исследований

Методика исследований состояла: 1) в обобщении и анализе имеющихся архивных материалов лаборатории физики и механики почв Почвенного института им. В.В. Докучаева и литературных данных по особенностям физических свойств пахотных почв основных провинций природно-сельскохозяйственных зон европейской территории России; 2) в использовании результатов модельных и полевых опытов и других экспериментальных материалов для обоснования оптимальных, допустимых и критических значений показателей физических свойств почв при комплексном антропогенном воздействии; 3) в использовании установленных взаимосвязей отдельных показателей физических свойств и основных факторов, определяющих эти свойства; 4) в использовании математических моделей для прогноза уплотнения пахотного слоя разных типов почв движителями сельскохозяйственной техники и моделей потери урожайности сельскохозяйственных культур при уплотнении.

При разработке нормативов в работе использовались следующие понятия.

Оптимальные значения показателей физических свойств – величины показателей физических свойств, которые удовлетворяют требованиям сельскохозяйственных растений, обеспечивая их максимальную продуктивность при определенном фиксированном уровне других факторов.

Введены также понятия допустимых и критических значений показателей физических свойств почв для роста и развития растений (Кузнецова и др., 2009).

Допустимые значения показателей физических свойств почв – это значения, образовавшиеся в результате деградационных процессов под влиянием антропогенных и природных факторов, которые носят обратимый характер. Возможность использования почв для продуктивного сельскохозяйственного производства при этом сохраняется.

Критические значения показателей физических свойств – это значения, при которых в результате деградационных процессов весь комплекс физических свойств достигает условно необратимого уровня изменения, снижающего общий уровень плодородия

почв. Дальнейшее продуктивное использование почв нерационально.

В качестве основных физических показателей, наиболее информативных для разработки нормативов изменения физического состояния в зависимости от характера антропогенных воздействий, были приняты следующие: плотность сложения почвы, ее структурное состояние и водно-физические свойства.

Сложение почв оценивается по равновесной плотности, к которой почва приходит к концу вегетационного периода, общей пористости и пористости аэрации. Равновесная плотность почв является в значительной мере интегральным показателем физического состояния почв и определяет многие условия жизни растений, степень окультуренности или деградации почв. Равновесная плотность является индивидуальной характеристикой для каждого типа почв.

Оптимальная плотность почв определяет благоприятные физические условия для существования агробиоценозов и естественных биоценозов, обеспечивая наиболее высокую продуктивность растений на фоне достаточного уровня питательных веществ и влаги. Ей соответствуют оптимальные значения порового пространства, обуславливающие оптимальный водный, воздушный, температурный и даже питательный режимы, легкое проникновение в почву корней растений и благоприятные условия для почвенной биоты. За критерий оценки оптимальной плотности принимается оптимальное содержание в почве воздуха при насыщении ее водой до наименьшей влагоемкости. Для ориентировочного определения интервалов оптимальной плотности в конкретных почвах и для конкретных культур предложена формула расчета (Долгов, Кузнецова, Модина, 1970; Кузнецова, 1990)

$$D_{оп} = (100 - A) \cdot d_{гф} / 100 + W \cdot d_{гф},$$

где $D_{оп}$ – оптимальная плотность почвы, г/см³; $d_{гф}$ – плотность твердой фазы почвы, г/см³; W – наименьшая влагоемкость почвы, % от массы; A – оптимальное для конкретной культуры содержание воздуха в почве, % от объема почвы.

На практике диапазон оптимальных значений плотности определяется по данным урожайности сельскохозяйственных культур в полевых опытах и производственных условиях (рис. 1).

Установлено, что при повышении плотности сложения выше оптимума на 0.01 г/см³, урожайность зерновых снижается на 0.6 ц/га (Бондарев, 1990).

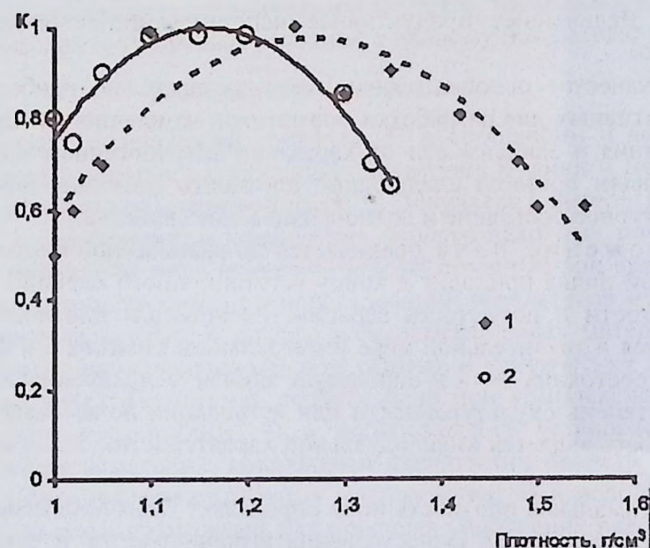


Рис. 1. Влияние плотности сложения почв на урожайность зерновых культур (К – относительная урожайность). Обобщенные кривые: 1 – для агродерново-подзолистых почв; 2 – для агрочерноземов.

Общая пористость определяет водно-воздушный режим почв, зависит от гранулометрического состава, структурного состояния почв. Общая пористость определяет эффективность функционирования почв, выражающуюся в том числе в развитии живой фазы почв – микробиоты, дождевых червей, растений и т.д.

Нижняя граница оптимального содержания воздуха в суглинистых и тяжелосуглинистых почвах при наименьшей влагоемкости составляет 15%. При пористости аэрации от 15 до 10% растения уже испытывают затруднение в росте, а при уменьшении ее ниже 10% происходит снижение биологической активности почвы и затрудняется нормальный газообмен почвы с атмосферой, что приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Верхняя граница оптимального содержания воздуха в почве колеблется в широком интервале – от 20 до 25 и даже 30%, в зависимости от требования культур и климатических условий зоны.

Более высокие значения этого показателя приводят к непроизводительным потерям влаги на физическое испарение.

Структурное состояние пахотного слоя оценивается содержанием агрегатов агрономически ценного размера

(0,25–10 мм), глыбистой фракции (агрегатов крупнее 10 мм), водопрочных агрегатов > 0,25 мм и пористостью агрегатов размером 5–7 мм.

Содержание агрегатов агрономически ценного размера при сухом просеивании определяет условия протекания почвенно-физических процессов, степень крошения почвы при обработке, устойчивость почвы к эрозии и уплотняющему воздействию сельскохозяйственной техники. Его оптимальное содержание варьирует от 70 до 85% для основных типов почв тяжелого гранулометрического состава. Снижение содержания агрегатов агрономически ценного размера ниже этих пределов резко ухудшает степень крошения почв при обработке, снижает устойчивость их к эрозии и уплотняющему воздействию сельскохозяйственной техники.

Содержание глыбистой фракции (>10 мм) при сухом просеивании является информативным показателем изменения физического состояния почв как при их окультуривании, так и при физической деградации. Его оптимальное содержание в пахотном слое основных типов почв суглинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава не превышает 20–30%. Превышение этих значений свидетельствует об ухудшении физического состояния почв. В почвах разной степени деградации содержание глыбистой фракции варьирует от 30 до 60%, а при техногенном уплотнении почв количество агрегатов глыбистой фракции может увеличиваться до 60–80 %, т.е. до критических значений.

Содержание водопрочных агрегатов > 0,25 мм является критерием для оценки и прогноза устойчивости сложения пахотного слоя во времени. Оптимальное содержание водопрочных агрегатов > 0,25 мм составляет для разных типов почв от 40 до 70(80)% (Кузнецова, 1979). Снижение содержания водопрочных агрегатов до 20–30% и менее в разных типах почв свидетельствует об ухудшении их физического состояния. Оценка грааций водопрочности структуры и устойчивости сложения почвы в зависимости от содержания водопрочных агрегатов представлена в таблице 1.

Пористость почвенных агрегатов является одним из диагностических показателей физического состояния почвы, определяющим как водные свойства почвы, так и возможность проникновения в агрегаты корней растений. По пористости агрегатов можно судить о природе их водопрочности. Оптимальные значения пористости агрегатов составляют 42–48%. Снижение пористости агрегатов в деградированных и особенно в переуплотненных пахотных почвах

Таблица 1. Оценка водопрочности структуры и устойчивости сложения пахотного слоя почв (по Кузнецовой, 1979)

Содержание водопрочных агрегатов > 0.25 мм, %	Водопрочность структуры	Устойчивость сложения по структуре
<10	Неводопрочная	Неустойчивое
10–20	Неудовлетворительная	То же
20–30	Недостаточно удовлетворительная	Недостаточно устойчивое
30–40	Удовлетворительная	То же
40–60	Хорошая	Устойчивое
60–75(80)	Отличная	Высокоустойчивое
>75(80)	Избыточно высокая	То же

до 36–32% свидетельствует об углублении процессов деградации почв, переходе деградации на агрегатный уровень и является устойчивым показателем переуплотнения почвы (Уткаева и др., 1986; Кузнецова, 1990).

Водопроницаемость почвы определяет впитывание влаги выпадающих осадков и поливной воды в орошаемых условиях. Водопроницаемость почв оценивается по количеству влаги, впитавшейся за 1-й час наблюдений, и по установившейся скорости фильтрации, которая отмечается через четыре-шесть часов после начала наблюдений.

Наименьшая (или полевая) влагоемкость определяет водоудерживающую способность почвы, влагообеспеченность растений и длительность межполивного периода в орошаемых условиях.

Влаго- и теплообеспеченность почв определяет ход почвообразовательных процессов, условия роста и развития растений, жизни почвенной биоты. Влагообеспеченность почв оценивается по содержанию влаги в пахотном и метровом слоях почвы в процентах от наименьшей влагоемкости или по содержанию продуктивной влаги в пахотном и метровом слоях (табл. 2).

Оптимальному значению влагообеспеченности растений соответствует содержание влаги в корнеобитаемом слое в пределах 80–100% от наименьшей влагоемкости.

Таблица 2. Запасы продуктивной влаги в почве (по Бондареву, 1977)

Влагообеспеченность почв, мм	Запасы в пахотном слое почвы, мм	Запасы в слое почвы 0–100 см, мм
Недостаточная	<20	<50
Достаточная	20–30	50–150
Оптимальная	30–40	150–200
Избыточная	>40	>200

Таблица 3. Шкала теплообеспеченности почв равнинной территории России (по Димо, 1991)

Сумма активных (выше 10°C) температур почвы на глубине 0.2 м, °C	Теплообеспеченность почв
0–400	Низкая
400–800	Весьма слабая
800–1200	Слабая
1200–1600	Ниже средней
1600–2100	Средняя
2100–2700	Выше средней
2700–3400	Хорошая
3400–4400	Весьма хорошая
4400–5600	Высокая
5600–7200	Весьма высокая

Теплообеспеченность почв оценивается главным образом по сумме активных температур выше 10°C на глубине 20 см для данного района и для периода роста и развития культур, а также по потребности культур в тепле за этот период.

Сумма активных температур в 1600–2100°C на глубине 20 см соответствует средней теплообеспеченности почв. Хорошая теплообеспеченность соответствует сумме 2700–3400°C, что отражено в таблице 3.

Модели прогноза уплотнения почв сельскохозяйственной техники и модели прогноза потерь урожайности сельскохозяйственных культур при уплотнении почв

Для расчета прогноза уплотнения почв движителями сельскохозяйственной техники использовались прогнозные модели уплотнения почв, предложенные П.М. Сапожниковым, А.Н. Прохоровым (1990). Модели прогноза уплотнения почв основаны на таких базовых показателях, как удельная поверхность твердой фазы

почвы ($S, \text{м}^2/\text{г}$), которая зависит от фундаментальных свойств почвы (минералогического, гранулометрического состава, содержания гумуса, поглощенных катионов), исходная плотность почвы ($y_0, \text{г}/\text{см}^3$), исходная влажность почвы ($w, \%$ массы) и максимальное контактное давление движителей техники на почву ($P, \text{кПа}$), определенное по ГОСТам 26953–26955–86.

Трактора ДТ-54, С-100 оказывают максимальное контактное давление на почву, равное ориентировочно 70–80 кПа, трактора ДТ-75, МТЗ-82, Т-74 ~ 140–150 кПа, колесный трактор Т-150К оказывает на почву максимальное давление 185 кПа.

Определение общей удельной поверхности твердой фазы почвы проводится экспресс-методом П.М. Сапожникова, А.В. Шевченко (1989).

Приращение плотности (Δy) является функцией указанных базовых показателей: $\Delta y = f(P, S, y_0, w)$. На основании изучения связи Δy с каждым из исследуемых факторов были установлены вид зависимости и значение возможного уплотнения почвы. Аналитическая запись модели выглядит следующим образом:

$$\Delta y = \frac{P [y_{\max} - y_0]}{a_1 y_0 + P \left[a_2 (y_{\max} - y_0) + a_3 w^2 + a_4 \frac{S}{w} \right]},$$

где y_0 и $y_{\max}$ – исходная и максимальная плотность почв, $\text{г}/\text{см}^3$, a_1 – a_4 – эмпирические коэффициенты.

По представленной модели были рассчитаны нормативы изменения плотности сложения пахотного слоя исследуемых типов почв в зависимости от уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники.

Учитывая связь плотности почвы с урожаем, можно прогнозировать и потери урожайности сельскохозяйственных культур. Этот прогноз проведен по модели, предложенной В.В. Медведевым (1990): $Y = Y_{\max} \cdot (1 - c/P - R_{\text{опт}}/2)$, где $Y_{\max}$ – максимальное значение урожайности при оптимальной плотности $R_{\text{опт}}$, P – фактическая плотность почвы, $\text{г}/\text{см}^3$, c – параметр модели.

Нормативы изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны ЕТР при антропогенном воздействии

Объектом исследования послужили дерново-подзолистые почвы на покровных суглинках, подстилаемых некарбонатной морской, относящиеся к Средне-Русской провинции южно-таежной лесной зоны (Природно-сельскохозяйственное районирование ..., 1983). Конкретные исследования дерново-подзолистых почв проводились на территории Московской области, относящейся к этой провинции.

Для разработки нормативов использовались материалы исследований Качинского и др., (1950); В.Н. Димо (1958); И.В. Кузнецовой (1977, 1978, 1984, 1994, 2000), Кузнецовой и др. (2009), а также монографий «Агрофизическая характеристика почв Нечерноземной зоны...» (1976), «Почвы Московской области и их использование», т. 1 (2002).

Нормативы представлены для почв с преобладанием деградационных процессов при антропогенных воздействиях. Для почв с преобладанием процессов окультуривания разработана предварительная система оценок параметров физических свойств (табл. 5).

Для дерново-подзолистых суглинистых почв с содержанием гумуса в диапазоне 1.8–2.5% (слабо- и среднеокультуренные почвы) оптимальная плотность, рассчитанная по приведенной выше формуле, составляет 1.22–1.35 $\text{г}/\text{см}^3$.

Результаты мелкоделяночных опытов с выращиванием яровой пшеницы, одноукосного райграса и конских бобов на дерново-подзолистых суглинистых почвах в Подмоскowie подтверждают эти данные (Долгов и др., 1978).

Величины показателей большинства физических свойств дерново-подзолистых почв взаимообусловлены и взаимосвязаны. Эта взаимосвязь демонстрируется диаграммой (рис. 2), на которой представлена схема зависимости содержания воздуха и водно-физических свойств пахотного слоя дерново-подзолистой суглинистой почвы от плотности сложения (Кузнецова, 1990).

Как видно из диаграммы, увеличение плотности сложения от 1.2 до 1.6 $\text{г}/\text{см}^3$ в дерново-подзолистых почвах приводит к снижению общей пористости от 52 до 40%. В составе порового пространства резко сокращается содержание воздуха до допустимых и даже критических значений (7.8% при плотности 1.5 $\text{г}/\text{см}^3$ и 4%

при плотности 1.6 г/см^3), что для этих почв, расположенных в зоне повышенного увлажнения, приобретает особое значение; на 14% возрастает влагоемкость, однако в ее составе значительно увеличивается доля недоступной растениям влаги, в результате чего резко снижается запас продуктивной влаги.

Экспериментальное подтверждение этих выводов приведено в таблице 4 по данным И.В. Кузнецовой (1978, 1981).

Установлено, что оптимальное содержание водопрочных агрегатов $> 0.25 \text{ мм}$ в пахотном слое разных типов почв составляет 40–70(80)%. В преобладающих в центральной части Среднерусской провинции в разной степени деградированных дерново-подзолистых почвах содержание водопрочных агрегатов $> 0.25 \text{ мм}$ значительно ниже и составляет 10–30% (допустимые значения). При критических значениях содержания водопрочных агрегатов ($< 10\%$) сложение почвы будет крайне неустойчивым, поверхность

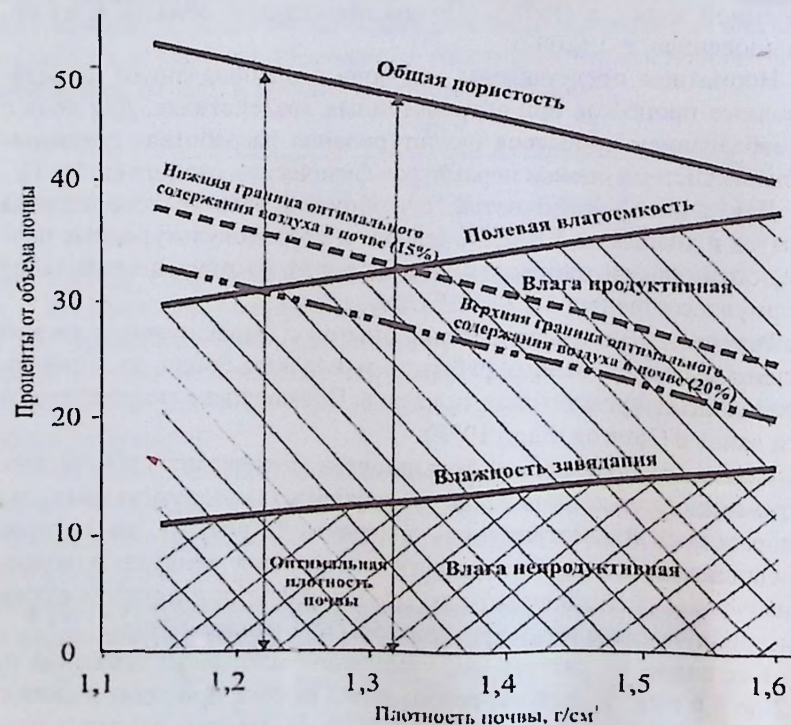


Рис. 2. Влияние плотности сложения на содержание воздуха и водно-физические свойства пахотного слоя дерново-подзолистой суглинистой почвы.

Таблица 4. Состояние всходов зерновых культур в зависимости от физического состояния пахотного слоя дерново-подзолистой суглинистой слабокультуренной почвы после ливневого увлажнения

Плотность почвы в слое 0–20 см, г/см^3	Оценка плотности	Состояние сопутствующих физических свойств			Состояние всходов зерновых культур
		общая пористость, %	пористость аэрации при НВ, %	содержание водопрочных агрегатов $> 0.25 \text{ мм}$, %	
~1.21–1.32	Оптимальная	49–53	15–17	20–22	Нормально развитые всходы
~1.40	Допустимая	~45	7–9	~20	Слабо изреженные всходы
1.50–1.62	Критическая	~2	3–5	11–17	Всходы погибли

пахни будет предрасположена к заплыванию и образованию почвенной корки при высыхании. Следует отметить, что в дерново-подзолистых почвах при сильном техногенном переуплотнении содержание водопрочных агрегатов может и возрастать, что связано с увеличением плотности отдельных агрегатов.

Оптимальные значения наименьшей влагоемкости для пахотного слоя дерново-подзолистых суглинистых почв составляют 28–30% от массы сухой почвы. В сильнодеградированных дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах наименьшая влагоемкость снижается до критических значений (22–24%).

Среди дерново-подзолистых почв, по экспертной оценке (Бондарев, Кузнецова, 1999; Бондарев и др., 2006), преобладают почвы с допустимыми значениями физических свойств (слабо- и среднедеградированные), составляя примерно 50–70% от площади пашни этих почв. Почвы с критическими значениями физических свойств (сильнодеградированные) занимают не более 10–20% площади пашни. Почвы с оптимальными параметрами физических свойств (высококультуренные почвы сортосеменных и огородных участков) составляют 8–10% площади пашни.

Анализ свойств дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности по материалам В.А. Францессона (1963), Г.И. Григорьева (1960), В.К. Пестрякова (1970), Ф.И. Левина (1972), Б.А. Никитина (1973), И.В. Кузнецовой (1977, 1998) дает основание считать, что органическое вещество является одним из основных факторов, определяющих не только химические, физико-химические, но и физические свойства почв суглинистого гранулометрического состава.

Оценка физических свойств пахотного слоя дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв с преобладанием процессов окультуривания (табл. 5) дана по материалам исследований, выполненных на полях передовых хозяйств и почв сорто-семенных и огородных участков Московской области (Кузнецова, 1977, 1994; Почвы Московской области и их использование, 2002).

Физические свойства пахотного слоя окультуренных почв полевых участков с повышенным содержанием органического вещества (2.5–3.0%) характеризуются тенденцией к улучшению: более рыхлым и устойчивым во времени сложением, лучшей оструктуренностью по сравнению с неокультуренными (освоенными) и среднеокультуренными почвами.

Высокоокультуренные почвы огородных, приусадебных и сорто-семенных участков, в отличие от окультуренных почв полевых участков, характеризуются большей мощностью гумусированного слоя, превышающей глубину пахотного слоя, повышенным (> 3 %) содержанием гумуса, оптимальными или приближающимися к ним физическими и водно-физическими свойствами. Окультуривание этих почв шло при регулярном внесении больших доз навоза. Так, если в слабо- и среднеокультуренных почвах полевых участков с содержанием гумуса 1.8–2.2% равновесная плотность составляет 1.30–1.40 г/см³, то в высокоокультуренных дерново-подзолистых почвах огородных и приусадебных участков величина равновесной плотности снижается и достигает оптимальных значений 1.17–1.27 г/см³ при 4% гумуса и даже 1.03–1.09 г/см³ при содержании гумуса 6%. Только в высокоокультуренных почвах огородных участков при содержании органического вещества от 4 до 6% пористость агрегатов достигает оптимальных значений (42–48%).

Водопрочность структуры дерново-подзолистых почв во многом определяется содержанием органического вещества. На рисунке 3 показано, что в перегнойно-аккумулятивных и пахотных

Таблица 5. Оценка изменения физических свойств пахотного слоя дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв на покровных суглинках при окультуривании. Центральная часть Среднерусской провинции южно-таежно-лесной зоны ЕТР (Московская область)

Показатели физических свойств	Степень окультуренности			
	низкая	средняя	высокая	
			полевые участки	огородные и сорто-семенные участки*
Содержание гумуса, %	1.5–2.0	2.0–2.5	2.5–3.0	3.0–6.0
Мощность гумусированного слоя, см	22–25(27)	25–27(29)	27–32	40–60
Равновесная плотность, г/см ³	1.40–1.35	1.35–1.30	1.30–1.25	1.25–1.0
Общая пористость, %	46–48	48–50	50–52	52–60
Пористость аэрации при НВ, %	10–15	15–20	20–25	25–30
Содержание агрегатов 10–0,25 мм, %	55–65	65–75	75–80	80–85
Содержание агрегатов >10 мм, %	40–30	30–25	25–20	20–15
Содержание водопропрочных агрегатов >0,25 мм, %	15–20	20–25	25–35	35–50
Пористость агрегатов 5–7 мм, %	36–38	38–40	40–42	42–46(48)
Наименьшая влагоемкость, % массы	24–26	26–28	28–30	30–32

* По классификации Почвенного института им. В.В. Докучаева (2004 г.) эта группа почв включает агроземы текстурно-дифференцированные и агростратоземы темногомусовые на дерново-подзолистых почвах.

горизонтах дерново-подзолистых почв содержание водопропрочных агрегатов > 0.25 мм находится в тесной корреляционной зависимости с общим содержанием органического вещества. Коэффициент корреляции составил 0.86 ± 0.05 при высокой степени достоверности (Кузнецова, 1994).

Полученные количественные закономерности хорошо согласуются с фактическим содержанием гумуса и водопропрочных агрегатов в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах полевых и огородных участков.

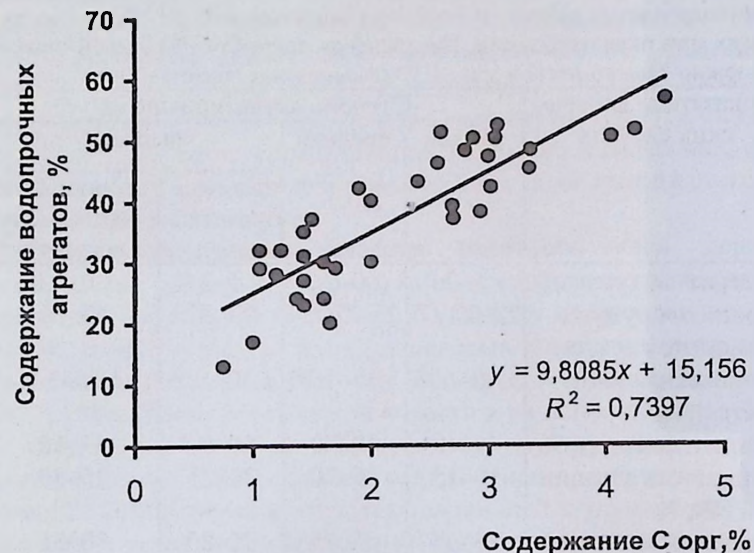


Рис. 3. Связь содержания органического вещества и водопрочности структуры в гор. Апах дерново-подзолистых среднесуглинистых почв.

Прогноз изменения плотности пахотного слоя дерново-подзолистых почв средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава в зависимости от уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники

Результаты многочисленных исследований уплотнения дерново-подзолистых суглинистых почв ходовыми системами тракторов в полевых опытах (Сапожников, Уткаева 1985; Сапожников и др., 1985; Бондарев и др., 1987) показали, что наибольшая деформация почвы по следу движителя происходила после первого его прохода. Повторные проходы по этому же следу изменяют сложение почвы в меньшей степени. Наибольшему переуплотнению после проходов тракторов подвергается пахотный слой почвы, особенно его верхняя часть – слой 0–10 см. Уплотнение затухает с глубиной и по мере удаления в поперечном направлении от следа трактора. Максимальную деформацию почв вызывает многократное уплотняющее воздействие движителей сельскохозяйственной

техники. Экспериментальное моделирование суммарного воздействия проходов тракторов на почву показало, что после 10 проходов трактора Т-150К плотность дерново-подзолистой суглинистой почвы в пахотном слое (вплоть до глубины 40 см) достигла 1.9 г/см³. Гусеничные трактора уплотняли почву меньше (Пупонин, Матюк, 1987). Существует и максимальный предел плотности сложения почв, который зависит главным образом от их гранулометрического состава и не может превышать величины 2.0 г/см³ (Шеин, 2005).

Изменение плотности сложения пахотного слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы под действием нагрузки приводит к изменению структурного состава и других физических свойств (Сапожников и др., 1985, 1990; Бондарев и др., 1987).

Прогноз изменения плотности дерново-подзолистой почвы тяжело- и среднесуглинистого гранулометрического состава рассчитан по модели, предложенной П.М. Сапожниковым, А.Н. Прохоровым (1990). Прогноз соответствует однократному проходу техники.

Анализ результатов прогноза плотности показал, что для дерново-подзолистой суглинистой почвы при исходной плотности 1.10 г/см³ давление движителей при влажности почвы 24% не должно превышать 150 кПа. При исходной плотности 1.20 г/см³ и влажности почвы 20–24% давление не должно превышать 100–150 кПа, а при исходной плотности 1.30 г/см³ – 50–100 кПа.

Исходя из прогноза уплотнения пахотного слоя дерново-подзолистых почв, рассчитаны и потери урожайности (Сапожников, 1994). При плотности до 1.30 г/см³, которая для дерново-подзолистой почвы является верхним пределом оптимума, снижение урожайности практически не прогнозируется. При увеличении плотности до 1.31–1.39 г/см³ (допустимых ее значений) урожайность может снизиться на 5–10%, а при повышении плотности > 1.50 (1.60) г/см³ (критических значений) – на 25–50%. Эти данные согласуются с экспертной прогнозной оценкой уменьшения урожайности при разных степенях уплотнения и подтверждаются полевыми опытами.

*Нормативы изменения физических свойств
пахотных черноземов лесостепной зоны
при антропогенном воздействии*

Нормативы разработаны для почв тяжелого гранулометрического состава, преобладающих среди черноземов – тяжелых суглинков и легких глин.

Для черноземов типичных и выщелоченных они составлены на основе анализа результатов исследований, выполненных в Курской, Липецкой, Белгородской областях (Кузнецова, 1967, 1978, 1998, 2000, 2004; Кузнецова, Старцев, 1990; Кузнецова и др., 1990), в Пензенской области (Гальдин), Татарстане (Колоскова), Башкортастане (Гарифуллин) и отражены в монографии «Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон...» (1977); Воронежской, Белгородской областях ЦЧР (Адерихин, 1960; Ахтырцев, Лепилин, 2001; Королев, 2004), восточной части Украины (Медведев и др., 2004). Они охватывают Среднерусскую и Заволжскую провинции.

В результате длительного и интенсивного сельскохозяйственного использования черноземных почв происходит агрогенная гомогенизация верхней части профиля (пахотного слоя) черноземов. При этом, согласно «Классификации и диагностики почв России» (2004), верхняя часть профиля почвы утрачивают признаки, позволяющие идентифицировать ее исходную подтиповую принадлежность. Образуется новый агрогенно-преобразованный горизонт.

Аналогичная закономерность отмечается в исследуемых почвах и по физическим свойствам. Типичные и выщелоченные черноземы западной части Среднерусской провинции, сформированные главным образом на лёссовидных суглинках, представлены в основном тяжело-суглинистыми разновидностями. Они характеризуются мощным гумусовым горизонтом (120–180 см) и относительно невысоким содержанием гумуса (5.5–6.5%). Подтиповые различия по физическим свойствам в пахотном слое этих почв в связи с длительным и интенсивным антропогенным воздействием сnivelированы (Кузнецова и др., 1989; Кузнецова и др., 1993; Савин, Кузнецова, 2000; Медведев и др., 2004).

Типичные и выщелоченные черноземы восточной части Среднерусской и в Заволжской провинциях, сформированные на плотных покровных суглинках разной мощности, третичных глинах, песчаниках, опоках и известняках, представлены легкоглинистыми разновидностями.

Мощность гумусового горизонта в них уменьшается до 90–60 см, содержание гумуса возрастает до 8–10%. В пахотном слое подтиповые различия также выровнены (Королев, 2004; Ахтырцев, Лепилин, 2001).

Нормативы изменения физических свойств черноземов западной и восточной частей лесостепной зоны при антропогенном воздействии отличаются главным образом диапазонами равновесной плотности и структурного состава, что обусловлено различием в гранулометрическом составе и содержании органического вещества в почвах этих провинций.

Оптимальные параметры физических свойств пахотного слоя разных подтипов черноземов и их диапазоны близки, что обусловлено и близкими требованиями возделываемых здесь культур. Оптимальная величина равновесной плотности для основных подтипов черноземов составляет 1.10–1.25 г/см³ в тяжело-суглинистых и 1.00–1.20 г/см³ в легкоглинистых разновидностях, что обуславливает оптимальные или близкие к ним показатели других физических свойств.

Содержание глыбистой фракции и агрегатов агрономически ценного размера для всех подтипов черноземов лесостепной зоны ЕТР показало четкую связь с плотностью сложения пахотного слоя почв (табл. 6). Так, в выборке со средней плотностью почвы, не превышающей оптимальных значений (1.16 г/см³), содержание глыбистой фракции в пахотном слое составляет менее 30%. А в выборке со средней плотностью выше 1.29 г/см³ содержание глыбистой фракции возрастает до 46% (Кузнецова, Старцев, 1990).

Оптимальное содержание водопрочных агрегатов > 0,25 мм в типичных и выщелоченных черноземах высокое и составляет 40–60% в тяжело-суглинистых разновидностях и 50–70(80)% в легкоглинистых. Пористость агрегатов диаметром 5–7 мм в оптимуме варьирует в пределах 40–46%.

Исследования показали, что в черноземах содержание органического вещества выше 5% в тяжело-суглинистых разновидностях и выше 6% в легкоглинистых является тем уровнем, который обеспечивает содержание водопрочных агрегатов > 0.25 мм от 40% и выше, т.е. на оптимальном уровне. Различия в содержании водопрочных агрегатов в пахотном слое этих почв определяется в значительной мере агротехникой возделываемых культур и культурой земледелия в целом (Кузнецова, 1998; Савин, Кузнецова, 2000).

Таблица 6. Связь структурного состояния типичных и выщелоченных черноземов лесостепной зоны с плотностью сложения

Угодье	Горизонт, глубина, см	Число определений	Плотность почвы, г/см ³	Содержание фракций, %; размер агрегатов, мм	
				>10	10–0.25
Целина	A1, 0–35	24	$\frac{0.77-1.09}{0.99}$	13	80
	Апах, 0–30	144	$\frac{0.88-1.20}{1.16}$	27	67
Пашня	Апах, 0–30	130	$\frac{1.21-1.40}{1.29}$	46	50
	A1, 35–45	79	$\frac{0.95-1.20}{1.09}$	13	81

Примечание. В числителе – диапазон варьирования величины показателя; в знаменателе – среднее значение.

На графике-схеме (рис. 4) показано влияние плотности сложения на содержание воздуха и водно-физические свойства черноземов типичных и выщелоченных тяжелого гранулометрического состава. Так, при увеличении плотности от 0.9 до 1.4 г/см³ в связи с изменением распределения пор по размерам общая пористость снижается от 65 до 45%, а пористость аэрации при НВ снижается до 7–10% и ниже, т.е. достигает критических значений. Возрастает величина наименьшей влагоемкости почв. При этом одновременно более быстрым темпом растет содержание недоступной растениям влаги. В результате этого запас продуктивной влаги уменьшается. Наиболее благоприятное соотношение содержания в почве воздуха и продуктивной влаги (1:1 или 1:1.5), как видно из графика, наблюдаются только в пределах плотности, равной 1.10–1.25 г/см³, т.е. оптимальных ее значений.

Оптимальные величины показателей физических свойств характерны для недеградированных типичных и выщелоченных черноземов лесостепной зоны на полях с высокой культурой земледелия, которые составляют примерно 50–70% площади пашни этих почв.

Установлено, что почвы с оптимальными или близкими к ним параметрами физических свойств при содержании гумуса выше 4% относительно устойчивы к разным видам физической деградации под влиянием природных и антропогенных факторов. Они же

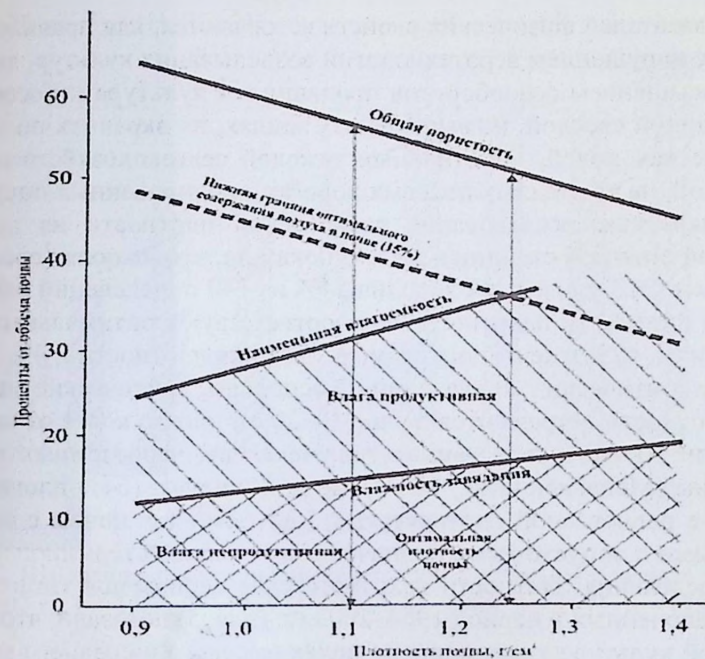


Рис. 4. Влияние плотности сложения на содержание воздуха и водно-физические свойства пахотного слоя черноземов типичных и выщелоченных.

обладают и наиболее высокой способностью к восстановлению физических свойств после устранения неблагоприятных факторов воздействия (Кузнецова, 2000)

В связи с этим типичные и выщелоченные черноземы лесостепной зоны с оптимальными параметрами физических свойств относятся к зоне с высокой эффективностью минимальных обработок (Музычкин и др., 1968; Кузнецова, Долгов, 1975; Бондарев, Кузнецова, 2004). Обязательным условием применения минимальных обработок являются чистые от сорняков поля.

Допустимые значения показателей физических свойств пахотного слоя характерны для черноземов слабой и частично средней степени деградации по физическим свойствам, которые составляют приблизительно 20–25% площади пашни этих почв.

Черноземы лесостепной зоны с критическими значениями физических свойств пахотного слоя составляют приблизительно ~10–20% площади пашни черноземных почв. Критические значе-

ния показателей физических свойств встречаются, как правило, на полях с нарушением агротехнологий возделывания культур, высоким насыщением севооборотов пропашными культурами, особенно сахарной свеклой, на выпашанных землях, на окраинах полей и на участках полей, уплотненных тяжелой сельскохозяйственной техникой, на временных полевых дорогах, эродированных почвах.

Конкретные исследования равновесной плотности на полях Курской опытной станции в 2002 г. показали, что на полях среднего и высокого уровня плодородия 54% из 140 определений равновесной плотности пахотного слоя соответствуют оптимальным ее значениям, 42% имеют допустимые значения плотности и 4% достигают критических ее значений. В основном, критические значения плотности встречаются в слое 10–20 см или по колее от колес техники. Аналогичные данные получены для черноземных почв Украины (Медведев и др., 2004), где доминируют (64% площади) почвы с равновесной плотностью $< 1.35 \text{ г/см}^3$, т.е. почвы с оптимальными и допустимыми ее значениями по нашей терминологии.

Определения плотности пахотного слоя черноземов типичных и выщелоченных в период 1964–2002 гг. (рис. 5) показали, что при высокой культуре земледелия на полях высокого и среднего уровня плодородия сохраняются благоприятные физические условия. Однако постоянно проявляется негативная тенденция изменения физических условий плодородия черноземов под влиянием уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники и усиления, особенно с 90-х годов, процессов дегумификации в результате сокращения применяемых доз органических удобрений и снижения агротехники в целом (Щербаков, Васенев, 2002; Кузнецова, 2004). Показатели плотности и других физических свойств пахотного слоя черноземов в этот период приблизились к верхнему пределу оптимальных значений или немного их превысили.

*Прогноз изменения плотности пахотного слоя черноземов
тяжелосуглинистого и легкосуглинистого
гранулометрического состава в зависимости
от уплотняющего воздействия
сельскохозяйственной техники*

Исследования в Курской обл. на типичных мощных черноземах, почвах с устойчиво благоприятными физическими свойствами показали, что даже однократный проход наиболее легкого ко-

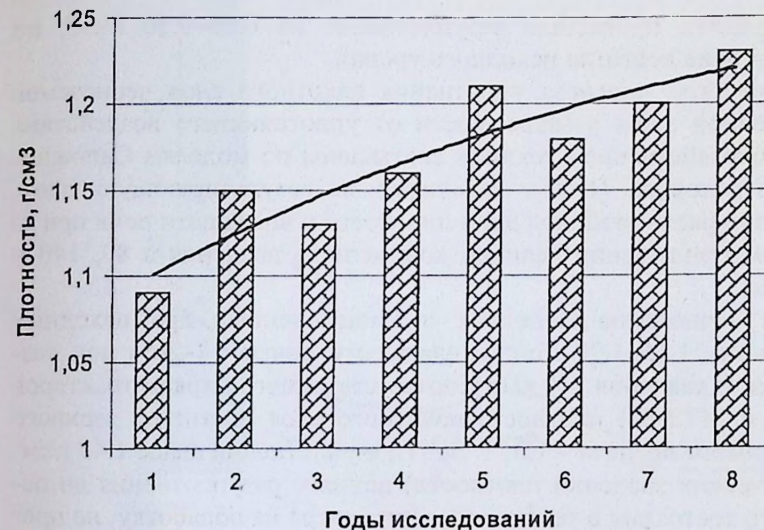


Рис 5. Изменение плотности пахотного слоя черноземов в период с 1964 по 2002 г.: 1 – 1964, 2 – 1965, 3 – 1966, 4 – 1968, 5 – 1971, 6 – 1986, 7 – 1988, 8 – 2002.

лесного трактора «Беларусь» при высоком весеннем увлажнении вызывает значительную деформацию пахотного слоя почвы по колее от колес (Кузнецова, 1978). Эти изменения происходят в интервале оптимальных значений плотности и носят обратимый характер. Плотность почвы на следующий год приходит к исходному уровню.

Экспериментальные данные, полученные в опытах на черноземе типичном мощном при уплотнении его различными тракторами (гусеничными, колесными) и при разном количестве их проходов показали (Сапожников и др., 1990), что плотность чернозема в весенний период по разным вариантам уплотнения возросла в слое 0–10 см на $0.38–0.51 \text{ г/см}^3$, в слое 10–20 см на $0.22–0.29$ и на глубине 20–30 см на $0.16–0.22 \text{ г/см}^3$, глубже приращение плотности не превышало 0.05 г/см^3 . Наибольшему уплотнению подвергся верхний 10-см слой почвы. Приобретенное в результате проходов тракторов уплотнение почва сохранила до конца вегетационного периода на всех вариантах опыта. В слое 0–10 см в результате разрыхляющего действия корневой системы ячменя и циклов набу-

хания-усадки произошло разуплотнение на $0.06\text{--}0.20\text{ г/см}^3$, но плотность не достигла исходного уровня.

Результаты прогноза уплотнения пахотного слоя черноземов лесостепной зоны в зависимости от уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники составлены по моделям Сапожникова, Прохорова (1990). Рассчитывали результирующую плотность при различной исходной плотности и влажности почв при 2-кратном приложении величины контактного давления в 80, 140 и 185 кПа.

Для черноземов типичных и выщелоченных при исходных плотностях $1.15\text{--}1.20\text{ г/см}^3$ и влажности почвы 22–26% под воздействием давления 140 кПа (соответствующего маркам тракторов ДТ-75 и МТЗ-82) плотность пахотного слоя достигает верхнего допустимого предела – 1.35 г/см^3 . При уплотнении выше 1.40 г/см^3 (критических значений плотности) полного разуплотнения до исходного состояния в течение года, несмотря на обработку, не происходит (Сапожников и др., 1991).

Сопоставление расчетных данных прогноза уплотнения с результатами, полученными в полевых и модельных экспериментах и производственных условиях, свидетельствует об их удовлетворительном совпадении.

Результаты прогноза потерь урожая, рассчитанные по модели Медведёва, совпадают с величинами снижения урожая ячменя при уплотнении типичного чернозема в модельных опытах.

В соответствии с изменениями плотности сложения черноземов при техногенном уплотнении изменяются и другие его физические свойства. Так, в частности, снижается его фильтрационная способность (рис. 6).

Несмотря на высокую степень уплотнения черноземов, как показали исследования, скорость их разуплотнения больше, чем у других почв (Уткаева, 1987; Сапожников и др., 1990). Эти положения подтверждаются результатами модельных опытов по изучению саморазуплотнения разных типов почв в процессах набухания-усадки (Кузнецова, Данилова, 1988; Кузнецова и др., 2000).

Нормативы изменения физических свойств пахотных черноземов степной зоны ЕТР при антропогенном воздействии

В связи с биоклиматическими особенностями степной зоны почвы ее западных и южных провинций отличаются невысоким

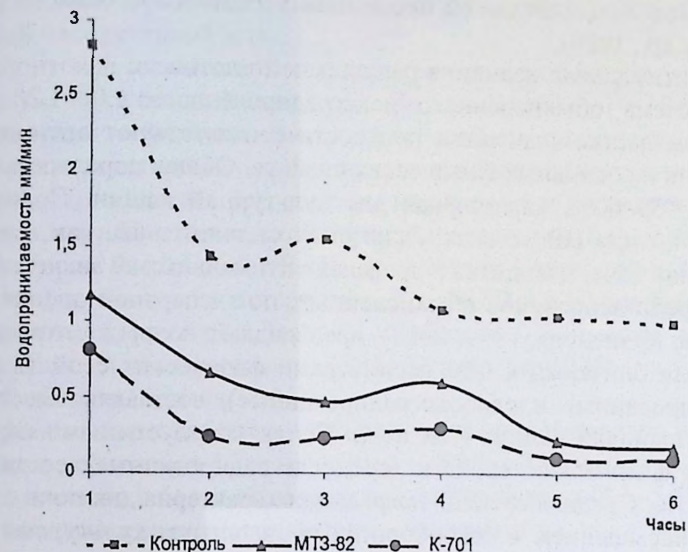


Рис. 6. Изменение фильтрационной способности чернозема типичного при техногенном уплотнении.

содержанием гумуса с поверхности и глубоким его проникновением по профилю (среднегумусные мощные и сверхмощные). По направлению к востоку почвы зоны становятся более гумусированными и менее мощными.

Черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые и легкосуглинистые занимают, в основном, северную часть степной зоны. Среди всех подтипов пахотных черноземов степной зоны обыкновенные черноземы с содержанием гумуса 5.0–7.0% и мощностью гумусового слоя 80–100 см обладают наиболее благоприятными физическими свойствами. Вскипание отмечается в нижней части гумусового горизонта или в начале переходного.

Нормативы изменения основных физических свойств черноземов обыкновенных тяжелосуглинистого и легкосуглинистого гранулометрического состава составлены на основании анализа и обобщения исследований, выполненных в Заволжской провинции в Самарской области (Буров и др., 1973), в Южнорусской провинции в Воронежской области (Адерихин, 1960; Шипилов, 1983; Королев, 2002, 2004) и в Белгородской области (Кузнецова и др.,

1989); в Предкавказской провинции в Ростовской области (Вальков и др., 1980).

Оптимальная величина равновесной плотности пахотного слоя чернозема обыкновенного недеградированного $1.00\text{--}1.20\text{ г/см}^3$. Оптимальным значениям плотности соответствуют оптимальные величины основных физических свойств. Общая пористость высокая – $55\text{--}60\%$, характерная для культурной пашни. Пористость аэрации при НВ во всех черноземах степной зоны, как и в лесостепной зоне, находится в пределах оптимальных ее значений.

Среди черноземов обыкновенных, по экспертной оценке (Бондарев, Кузнецова, 1999, 2008), преобладают почвы с оптимальными или близкими к ним параметрами физических свойств (недеградированные и слободеградированные), составляя вместе $70\text{--}80\%$ площади пашни этих почв. Почвы с допустимыми параметрами физических свойств (среднедеградированные) составляют $20\text{--}25\%$. Средняя степень деградации характерна для почв с высоким насыщением в севооборотах пропашными культурами и сахарной свеклой. Критические значения некоторых показателей физических свойств наблюдаются в малогумусных маломощных (эродированных) и выпаханных обыкновенных черноземах.

Черноземы обыкновенные высококарбонатные (предкавказские) расположены в самой южной и юго-западной части степной зоны в Предкавказской степной и лесостепной провинции, отличающейся особенно большой пестротой почвообразующих пород. Название почв связано с их географическим местоположением.

Нормативы изменения физических свойств пахотного слоя черноземов обыкновенных высококарбонатных (предкавказских) разработаны на основе результатов исследований на территории Ростовской области (Гаврилюк в кн. «Агрохимическая характеристика ...», 1964; Садименко и др. в кн. «Агрофизическая характеристика ...», 1977) и в Краснодарском крае (Русанов, Небогин, 1998).

Черноземы обыкновенные Предкавказской провинции отличаются от обыкновенных черноземов Южнорусской провинции большей мощностью гумусовых горизонтов (до $100\text{--}150\text{ см}$), меньшим содержанием гумуса ($4\text{--}5.5\%$), высокой карбонатностью с поверхности или в верхней части гумусового горизонта. Оптимальная величина равновесной плотности пахотного слоя этих почв, ее допустимые и критические значения находятся в том же

диапазоне, что и у обыкновенных черноземов, расположенных в северной части степной зоны.

Южные черноземы занимают преимущественно южную и юго-восточную части степной зоны.

Нормативы изменения физических свойств пахотного слоя черноземов южных тяжелосуглинистого и легкогоглинистого гранулометрического состава разработаны на основании исследований, выполненных в Предкавказской степной и лесостепной провинции на территории Ростовской области (Гаврилюк; Садименко и др. в кн. «Агрофизическая характеристика ...», 1977) и в Южнорусской провинции на территории Ростовской области (Садименко и др., там же; Клименко, Крыщенко, 1978; Кузнецова, 1978) и в Саратовской области (Азизов, 2006).

Оптимальная равновесная плотность этих почв несколько выше плотности черноземов обыкновенных – $1.10\text{--}1.25\text{ г/см}^3$, что, как правило, связано с более низким содержанием гумуса ($4.5\text{--}5.5\%$) и более тяжелым гранулометрическим составом этих почв. Критические значения отдельных показателей физических свойств наблюдаются в малогумусных маломощных (эродированных) и солонцеватых южных черноземах. Преобладают черноземы южные с допустимыми значениями физических свойств.

Анализ материалов исследований физических свойств основных подтипов пахотных черноземов в разных почвенных провинциях степной зоны показал следующее. Оптимальная плотность пахотного слоя чернозема обыкновенного имеет следующую тенденцию: при движении с юго-запада к северо-востоку степной зоны значения оптимальной плотности черноземов уменьшаются, при этом содержание гумуса в пахотном слое увеличивается, то есть с увеличением в почве органического вещества оптимум плотности пахотного слоя сдвигается в сторону снижения ее значений.

Анализ результатов исследований черноземов южных Южнорусской (Саратовская область) и Предкавказской (Ростовская область) провинций показал, что и здесь наблюдаются аналогичные тенденции.

Степная зона обыкновенных и южных черноземов относится к зоне высокой и средней эффективности минимальных обработок. Эффективность поверхностной обработки в производственных условиях показана на южных легкоглинистых среднемощных среднегумусных черноземах Ростовской области (Кузнецова,

1978) и на южном среднемощном тяжелосуглинистом черноземе Поволжья (Азизов, 2006). Однако на таких полях необходимо периодически проводить глубокую вспашку с оборотом пласта, чтобы не допустить переуплотнения нижней части бывшего пахотного слоя почвы.

*Прогноз изменения плотности пахотного слоя
черноземов тяжелосуглинистого и легкогоглинистого
гранулометрического состава степной зоны ЕТР
в зависимости от уплотняющего воздействия
сельскохозяйственной техники*

В качестве примера уплотняющего воздействия движителей сельскохозяйственной техники на плотность сложения черноземов степной зоны могут служить результаты работы М.А. Шипилова (1983), выполненные на черноземах обыкновенных тяжелосуглинистых Воронежской области в 1978–1981 гг.

Исследования показали, 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 более легкими тракторами МТЗ-80 и ДТ-75 изменения физических свойств менее значительны и распространяются до глубины 30 см. Полное саморазуплотнение обыкновенных черноземов после уплотнения трактором К-701 под действием естественных факторов происходило медленно и затягивалось на несколько лет. Полного разуплотнения на следующий год не происходило даже при проведении вспашки на 20–22 см и культивации. Сохранялась глыбистость.

Урожайность зерновых культур в опыте с уплотнением тесно связана не только со степенью уплотнения почвы, но и с 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.

Результаты прогноза уплотнения чернозема обыкновенного и снижения урожайности зерновых, полученных по вышеуказанным моделям, сопоставимы с результатами М.А. Шипилова, полученными в полевых и производственных условиях.

Аналогичные прогнозы уплотнения пахотного слоя и снижения урожайности зерновых культур при уплотнении составлены также для других подтипов черноземов разных природно-сельскохозяйственных провинций степной зоны.

Характерной особенностью почв основных подтипов черноземов тяжелосуглинистого и легкогоглинистого гранулометрического состава степной зоны является способность к самовосстановлению, которое происходит за счет процессов набухания и усадки, замерзания и оттаивания. Способность к самовосстановлению черноземных почв связана с высоким содержанием илистой фракции, а в ее составе – высоким содержанием минералов монтмориллонитовой группы (Кузнецова, Данилова, 1988; Кузнецова и др., 2000). По данным Шурыгиной (1953), Чижиковой, Самсоновой (1995) содержание набухающих минералов (смектитовой фазы) достигает 50–70% от массы илистой фракции.

*Нормативы изменения физических свойств пахотных
каштановых почв сухостепной зоны ЕТР
при антропогенном воздействии*

Каштановые почвы занимают ведущее место в земледелии сухостепной зоны страны как в условиях богарного, так и орошаемого земледелия.

Нормативы изменения физических свойств пахотного слоя каштановых почв разработаны на основе обобщения результатов исследований, выполненных в Донской провинции в Ростовской области (Гаврилюк, Садименко и др., в кн. «Агрофизическая характеристика ...», 1977); в Волгоградской области (Воронин, Манучаров, там же) и в Заволжской провинции в Волгоградской области (Бондарев, там же; Бондарев, 1978; Бондарев и др., 1979).

Каштановые суглинистые и тяжелосуглинистые почвы характеризуются широким диапазоном варьирования физических свойств, в первую очередь структуры и плотности сложения. Это связано со значительной выпашанностью этих почв, их дегумификацией и переуплотнением сельскохозяйственной техникой, особенно в условиях орошаемого земледелия.

Каштановые почвы сухостепной зоны отличаются невысоким содержанием органического вещества (3–4%) и мощностью гумусового слоя (не более 50 см).

Оптимальная плотность недеградированных среднетяжелых почв составляет 1.20–1.30 г/см³. Каштановые почвы с оптималь-

ными параметрами физических свойств занимают всего 5–10% площади пашни этих почв.

Каштановые почвы с допустимыми значениями физических свойств (слабой и средней степени деградации) занимают по экспертной оценке 60–70% площади пашни этих почв.

Критические значения показателей физических свойств характерны для каштановых солонцеватых почв, почв переуплотненных сельскохозяйственной техникой и сильно выпаханных.

На пахотных каштановых почвах Нижнего Заволжья под воздействием относительно легкого трактора ДТ-75 плотность почвы повышалась в пахотном слое (0–20 см) до 1.28–1.43 г/см³ (1.18–1.24 г/см³ на неуплотненной почве). Под воздействием тяжелого колесного трактора Т-150К повышение плотности наблюдалось на глубину до 45 см.

Каштановые орошаемые почвы подвергаются еще большему переуплотнению под действием сельскохозяйственной техники по сравнению с почвами в богарных условиях вследствие их более высокой влажности и более интенсивного сельскохозяйственного использования (Бондарев, 1978).

*Нормативы изменения физических свойств пахотных
светло-каштановых почв полупустынной зоны ЕТР
при антропогенном воздействии*

Светло-каштановые почвы распространены в северной части полупустынной зоны ЕТР на территории Прикаспийской провинции. Однако светло-каштановые почвы встречаются и на территориях сухостепной зоны, граничащих с Прикаспийской провинцией.

Территория Прикаспийской провинции, в основном, сложена морскими аллювиально-озерными породами, отличающимися пестротой литологического состава, с частым чередованием и слоистостью песчаных, суглинистых и глинистых пород. Породы тяжелого гранулометрического состава часто засолены. В крайне западной и северо-западной частях провинции почвообразующие породы представлены лёссовидными суглинками (Вадюнина, 1970; Васильев и др., 1979; Классификация и диагностика почв СССР, 1977).

Светло-каштановые почвы имеют разную степень солонцеватости. Несолонцеватые виды светло-каштановых почв встречаются

редко. Земледелие на светло-каштановых почвах эффективно только при орошении.

Характерная особенность провинции – комплексность почвенного покрова, связанная с микро- и мезорельефом, обуславливающим перераспределение влаги по поверхности (Димо, Келлер, 1907).

Нормативы изменения физических свойств пахотного слоя светло-каштановых почв разработаны на основе обобщения результатов исследований, выполненных на светло-каштановых почвах Прикаспийской провинции в Ростовской области (Гаврилюк, Садименко и др. в кн. «Агрофизическая характеристика ...», 1977); Южнорусской провинции в Волгоградской области (Кузнецова, там же; Вадюнина, 1970) и Заволжской провинции Волгоградской области (Бондарев, Кузнецова, 1973; Бондарев в кн. «Агрофизическая характеристика ...», 1977).

Оптимальная плотность пахотного слоя светло-каштановых среднесуглинистых и тяжелосуглинистых почв с содержанием гумуса 1.5–2.5% составляет 1.20–1.35 г/см³. Почвы с оптимальными значениями физических свойств встречаются на 8–10% площади пашни. Критические значения физических свойств встречаются в солонцеватых почвенных разностях.

3.5. Загрязнение почв тяжелыми металлами

Содержание тяжелых металлов (ТМ) и их подвижность в почвах являются важной характеристикой как природных условий почвообразования (в первую очередь, почвообразующих пород), так и антропогенной нагрузки на почву, связанной как с техногенным загрязнением, так и непосредственно с агротехнологиями. Существует несколько подходов к оценке содержания ТМ в почвах, частично связанных между собой. Официальные ПДК (ОДК) отражают комплексную опасность с точки зрения человека (вдыхание пыли, загрязнение пищевой растительной продукции и др.). Неофициальные фитоПДК отражают влияние на продуктивность растений. Имеются еще ПДК (МДУ) для растительной продукции, через которые косвенно можно охарактеризовать почвы.

Из анализа литературы видно, что фактической информации для разработки нормативов изменения (дополнительно к ПДК и ОДК) пока мало, а для прогноза – нет вовсе. В таблице 7 приведены возможные нормативы, основанные на ПДК (ОДК) и границах

Таблица 7. Предварительные нормативы содержания тяжелых металлов и некоторых других загрязняющих веществ в почвах, мг/кг почвы

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	—	<u>Валовое содержание</u>	
	—	Hg < 2.1	4.2
	—	Pb < 32	64
	—	Zn < 55	110
	—	Cd < 0.5	1.0
	—	Cu < 33	165
	—	Ni < 20	100
	—	Cr(+3) < 20	100
	—	Mn < 1500	15000
	—	V < 150	1500
	—	Sn < 4.5	—
	—	Sb < 4.5	22.5
	—	As < 2.0	4.0
	—	S(элементарная) < 160	—
	—	Нитраты < (130–180)	—
Суглинистые и глинистые с рН _{KCl} < 5.5	—	Бенз(а)пирен < (0.02–0.2)	0.04–0.4
	—	Hg < 2.1	4.2
	—	Pb < 65	130
	—	Zn < 110	220
	—	Cd < 1.0	2.0
	—	Cu < 66	330
	—	Ni < 40	200
	—	Cr(+3) < 20	100
	—	Mn < 1500	15000
	—	V < 150	1500
	—	Sn < 4.5	—
	—	Sb < 4.5	22.5
	—	As < 5.0	10
	—	S(элементарная) < 160	—
	—	Нитраты < (130–180)	—
Суглинистые и глинистые с рН _{KCl} > 5.5	—	Бенз(а)пирен < (0.02–0.2)	0.04–0.4
	—	Hg < 2.1	4.2
	—	Pb < 130	260
	—	Zn < 220	440
	—	Cd < 2.0	4.0
	—	Cu < 132	660

Окончание таблицы 7

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
—	—	Ni < 80	400
	—	Cr(+3) < 20	100
	—	Mn < 1500	15000
	—	V < 150	1500
	—	Sn < 4.5	—
	—	Sb < 4.5	22.5
	—	As < 10	20
	—	S(элементарная) < 160	—
	—	Нитраты < (130–180)	—
	—	Бенз(а)пирен < (0.02–0.2)	0.04–0.4
	—	<u>Подвижные формы</u>	
	—	Pb < 6.0	12
	—	Zn < 23	46
	—	Cu < 3.0	15
	—	Ni < 4.0	20
	—	Cr < 6.0	30
	—	Co < (5–25)	25–125
	—	Mn (0.1 н. H ₂ SO ₄)	
	—	— черноземы < 700	7000
	—	— дерново-подзолистые, рН _{KCl} 4.0 < 300	3000
	—	рН _{KCl} 5.1–6.0 < 400	4000
	—	рН _{KCl} > 6.0 < 500	5000
	—	Mn (ААБ)	
	—	— черноземы < 140	1400
	—	— дерново-подзолистые, рН _{KCl} 4.0 < 60	600
	—	рН _{KCl} 5.1–6.0 < 80	800
	—	рН _{KCl} > 6.0 < 100	1000
	—	F < (2.8–10)	5.6–20

удовлетворительной и чрезвычайной экологической ситуаций (Критерии оценки ..., 1992) и относящиеся ко всей территории РФ. В случае разработки региональных ПДК (ОДК) приведенные здесь нормативы могут быть дифференцированы по регионам.

4. ЗОНАЛЬНО-ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ НОРМАТИВЫ ИЗМЕНЕНИЙ АГРОХИМИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПРИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

4.1. Южно-таежно-лесная зона

Дерново-подзолистые почвы

Таблица 8. Диагностическая характеристика дерново-подзолистых почв, используемых в земледелии (Классификация..., 1977)

Показатель	Освоенные	Окультуренные
<i>С преимущественным накоплением в иллювиальном горизонте железа, алюминия и гумуса на песчаных и супесчаных породах</i>		
pH _{KCl} по всему профилю	3.9–4.9	5.5–6.0 (реже 4.7–5.5)
Степень насыщенности основаниями (V,%)	≤20–50	60–70 (до 80) в верхней части профиля
Гор. Апах: гумус, %	0.3–2.0 (песчаные) 1.3–2.0 (супесчаные)	1.5–2.0 (песчаные) 2.5–3.0 (супесчаные)
С _{гк} / С _{фк}	0.4–0.5	0.6–0.9
ЕКО, мг-экв/кг	30–70 (песчаные) 40–100 (супесчаные)	60–120 —
S, мг-экв/кг	8–40 (песчаные) 20–40 (супесчаные)	≥30–40 (песчаные) 70–100 (супесчаные)
Гор. А2: мощность, см	2–30 и более	—
ЕКО, мг-экв/кг	30–40	30–40
S, мг-экв/кг	4–15	4–15
Гор. В: ЕКО, мг-экв/кг	10–50	30–70
S, мг-экв/кг	10–50	15–30 (песчаные) до 60 (супесчаные)
		или до 8–10%

Окончание таблицы 8

Показатель	Освоенные	Окультуренные
<i>С накоплением ила в иллювиальном горизонте на суглинистых и глинистых породах</i>		
pH _{KCl} по всему профилю	4.3–4.7	5.0–5.5 (редко 4.5–4.7) в верхних 30–40 см
V, % до глубины 50 см	30–60	60–80
Гор. Апах: гумус, %	1.5–2.5 (до 3.0)	2.0–3.0
С _{гк} / С _{фк}	0.5–0.7 (до 0.4)	0.6–0.8 (до 0.9)
ЕКО, мг-экв/кг	100–120	120–180
подвижный P ₂ O ₅ , мг/кг	30–100	—
подвижный K ₂ O, мг/кг	100–200	—
Гор. А1 (если есть): гумус, %	—	1.0–1.5
Гор. А2 (если есть): мощность, см	от 1–3 до 30 и более	от 2–3 до 10 (максимум 20)
ЕКО, мг-экв/кг	40–60	60–120
S, мг-экв/кг	10–20	≥40–50
<i>Разделение дерново-подзолистых почв на виды по степени эродированности</i>		
Слабосмытые	Вспашкой затронута самая верхняя часть гор. А2В; по сравнению с несмытой почвой гор. Апах осветлен и буроват, суммарный запас гумуса в слое 0–30 см на 20–25% меньше; имеются редкие промоины	
Среднесмытые	В пахотный слой вовлечены гор. А2В и В1; признаков подзолистости нет, цвет бурый и сильнопятнистый; частые промоины	
Сильносмытые	Распахана часть гор. В2; невозможно диагностировать первоначальную почву	

Таблица 9. Диагностическая характеристика пахотных дерново-подзолистых почв (Классификация..., 2004)

Показатель	Значение
Тип: Агродерново-подзолы	
Породы	Песчаные и супесчаные
Подзолистый горизонт	Сохраняется частично
Гор. Апах:	
цвет	Светло-серый или буровато-серый
гумус, %	0.5–2.0 и более
С гк / Сфк	≤ 0.9
V, %	60–80
Тип: Агродерново-подзолы глеевые	
Отличаются от агродерново-подзолов наличием в нижней части профиля глеевого горизонта и признаков оглеения в альфегумусовом горизонте	
Тип: Агродерново-подзолистые	
Породы	Суглинистые и глинистые
Гор. Апах:	
реакция	Кислая или слабокислая
гумус, %	1.5–3.0
С гк / Сфк	0.8–0.9
Тип: Агродерново-подзолисто-глеевые	
Образуются при распашке и агрогенной трансформации дерново-подзолисто-глеевых и подзолисто-глеевых почв. При этом остается нижняя часть осветленного, иногда оглеенного элювиального горизонта. Агрогенно-преобразованный горизонт грязно-серый; при осушительных мелиорациях в остаточно-глеевом горизонте начинают преобладать ржавые тона	
Тип: Агроземы текстурно-дифференцированные	
Образуются из дерново-подзолистых, подзолистых и других почв	
Плужная подошва	Встречается часто
Гор. Апах:	
залегание	Непосредственно на текстурном горизонте
цвет	Светлогумусовый
мощность, см	25–35
гумус, %	1.5–3.0 (редко 4.0–5.0)
состав гумуса	От фульватного до гуматно-фульватного
Разделение почв на виды	
По мощности агрогоризонта	Мелкопахотные (< 20)
(пахотного), см	Среднепахотные (20–30)
	Глубокопахотные (30–40)

Таблица 10. Характеристика архетипа пахотной дерново-подзолистой почвы на покровных суглинках (Козловский, 1998, 2003)

Показатель	Значение
Гор. Апах:	
содержание ила, %	4
пористость, %	45
углерод лабильный, %	0.4–0.6
углерод стабильный, %	0.4
pH _{H₂O}	5.5–6.0
Гор. А2 подпахотный:	
содержание ила, %	4
пористость, %	40
углерод лабильный, %	0.1–0.2
углерод стабильный, %	0.1
pH _{H₂O}	4.5–5.5
балл оглеения	1
Гор. А2В:	
содержание ила, %	18
pH _{H₂O}	3.5–5.0
балл оглеения	2

Примечание. Углерод лабильный рассчитан как возможные потери при минерализации, углерод стабильный – как разность между органическим углеродом почвы и углеродом стабильным.

Органическое вещество почв

Провинция Прибалтийская (восточная)

Таблица 11. Нормативы содержания гумуса в дерново-подзолистой почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	0.5–1.0	1.5–2.0	До 2.5
Легко- и среднесуглинистые	1.0–1.5	2.0–2.6	До 3.3
Тяжелосуглинистые и глинистые	1.5–2.0	2.5–3.3	До 3.9

Провинция Среднерусская (кроме Верхнекамского и Камско-Предуральского округов)

Таблица 12. Нормативы содержания гумуса в дерново-подзолистой почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	0.3–0.8	1.0–1.4	До 2.3
Легко- и средне-суглинистые	0.6–1.3	1.5–2.0	До 3.0
Тяжелосуглинистые и глинистые	0.9–1.6	1.8–2.6	До 3.4

(Верхнекамский и Камско-Предуральский округа)

Таблица 13. Нормативы содержания гумуса в дерново-подзолистой почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	0.4–1.0	1.2–1.6	До 2.5
Легко- и средне-суглинистые	0.8–1.5	1.8–2.6	До 3.3
Тяжелосуглинистые и глинистые	1.2–2.0	2.2–3.0	До 3.9

Реакция почвенной среды

Таблица 14. Нормативы показателей кислотности дерново-подзолистых почв в целом

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	4.5–4.6	$pH_{KCl} = 5.5–6.0$ Mg подвижный (мг/кг) = 70–90 V(%) = 50–80	—
Легко- и среднесуглинистые	4.5	$pH_{KCl} = 5.6–6.5$	—
Тяжелосуглинистые и глинистые	—	$pH_{KCl} = 6.1–6.5$	—

Таблица 15. Прогноз результатов антропогенных воздействий на показатели кислотности дерново-подзолистых почв в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальные значения показателя, дополнительные условия		Доза воздействия для сдвига значений показателя
—	Доведение pH_{H_2O} до 6.5, время не указано	pH_{H_2O}	на 1 т	Доза $CaCO_3$ (т) для сдвига pH_{H_2O} на 0.1
		5.1	ила гумуса	0.048 0.097
		5.5	ила гумуса	0.039 0.080
		5.9	ила гумуса	0.025 0.060
		6.3	ила гумуса	0.010 0.032
Супесчаные Суглинистые	Качественный известковый материал; время 1 год	—		Доза $CaCO_3$ (т/га) для сдвига pH_{KCl} на 0.1
				0.3–0.5
				0.5–0.7

Провинция Прибалтийская (восточная)

Таблица 16. Нормативы показателей кислотности дерново-подзолистой почвы

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные	4.3	Озимая рожь $pH_{KCl} = 5.0-5.5$ $Hg = 10-15$ мг-экв/кг	6.6 —
Супесчаные и легкосуглинистые	4.9	Озимая рожь $pH_{KCl} = 5.0-5.5$ $Hg = 10-15$ мг-экв/кг	7.1 —
Среднесуглинистые	5.6	Озимая рожь $pH_{KCl} = 5.0-5.5$ $Hg = 10-15$ мг-экв/кг	7.1 —
—	—	Другие культуры $pH_{KCl} = 5.7-6.3$ $Hg = 10-18$ мг-экв/кг	—

Провинция Среднерусская (западная)

Таблица 17. Нормативы показателей кислотности дерново-подзолистой почвы

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	—	$pH_{KCl} = 5.0-5.3$	—
Легкосуглинистые	4.3	$pH_{KCl} = 5.3-5.4$ Обменный Ca (% от ЕКО) = 46-55	5.9 59-61 —
	15-17	Обменный Mg (% от ЕКО) = 20-26	3.3-3.4
	—	Ca/Mg в ППК = 2.1-2.2	—
Среднесуглинистые	4.8	$pH_{KCl} = 5.3-5.6$	6.3
	33-40	Обменный Ca (% от ЕКО) = 46-48	57 —
	14-19	Обменный Mg (% от ЕКО) = 23-28	1.7-2.9
	—	Ca/Mg в ППК = 1.6-2.1	—
Тяжелосуглинистые	—	$pH_{KCl} = 5.5-5.8$	—

Таблица 18. Прогноз результатов антропогенных воздействий на показатели кислотности дерново-подзолистой почвы

тели кислотности дерново-подзолистой почвы					
Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия		Доза воздействия для сдвига значений показателя	
Супесчаные	Последствие известкования доломитовой мукой (23 года); навоз – 1 раз за ротацию, NPK – ежегодно	До известкования сумма обменных оснований (S) 15–31 мг-экв/кг		Изменение S в разных интервалах доз известки (мг-экв/кг)	
		Интервал доз известки (ед. Нг)	Время после известкования (годы)		
		0–0.7	0		+12
			8		+10
			15		+7
			23		+4
		0.7–1.3	0		+12
			8		+8
			15		+5
			23		+2
		1.3–2.0	0		+9
			8		+6
			15		+3
			23		+0.6
		Интервал доз навоза (т/га)		Изменение S в разных интервалах доз навоза	
				0–27	+1
				27–53	+1
				53–80	+1
		Интервал доз суммы NPK (кг/га)	Время после известкования (год)	Изменение S в интервале доз NPK	
		0–160	0	0	
			8	–0.3	
			15	–0.6	
			23	–0.8	

Продолжение таблицы 18

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия		Доза воздействия для сдвига значений показателя
		Интервал времени после известкования (годы)	Доза известки (ед. Нг)	Изменение S в разных интервалах времени
Легко-суглинистые на суглинистой морене	Плодосменный 7-польный севооборот со льном Исходные: рН _{КС} 4.2–4.5, V 30–40%, гумус 2%. 15 лет после известкования. Средняя доза NPK за ротацию – N230P225K285 повышенная доза – N460P450K570 высокая доза – N690P675K855 Интервал	0–8	0.0	–8
			0.7	–10...–11
			1.3	–13...–14
			2.0	–16...–17
			0.0	–2...–3
		8–15	0.7	–5...–6
			1.3	–8
			2.0	–10...–1
		15–23	0.0	–1...–2
			0.7	–4...–5
			1.3	–7...–8
			2.0	–10
		Интервал доз известки (ед. Нг) при разных уровнях NPK		Изменение Нг в разных интервалах доз известки (независимо от года после известкования)
		0–0.5		–0.30
		0.5–1.0		–0.13
		1.0–1.5		–0.10
		1.5–2.0		–0.08
		2.0–2.5		–0.07
		Интервал доз NPK за ротацию при разных дозах известки		Изменение Нг в разных интервалах доз NPK

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Песчаные и супесчаные	Нг 27.5–48.5, S 29–48 мг-экв/кг	от 0 до средней дозы	–1.1
		средняя – повышенная	–0.29
		повышенная – высокая	–0.14
		Интервал доз извести (ед. Нг)	Изменение S в разных интервалах доз извести
		0–0.6	+0.61
		80	–0.80
		160	–1.40
		240	–1.80
		0.6–1.25	+0.28
		80	–0.31
		160	–0.55
		1.25–1.9	+0.22
Среднесуглинистые		1.9–2.5	+0.19
		Интервал времени после известкования (годы)	Изменение S в разных интервалах времени
		1–4.5	+1.2
		4.5–8	+0.09
		8–11.5	–0.29
		11.5–15	–0.50

Подвижный фосфор почвы

Таблица 19. Нормативы содержания подвижных фосфатов по методу Кирсанова в дерново-подзолистых почвах в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	20–25	180–200	–

Таблица 20. Прогноз результатов антропогенных воздействий на содержание подвижных фосфатов дерново-подзолистых почв в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Песчаные и супесчаные	При pH _{KCl} >5.5 поднимает содержание в почве до оптимального за срок около 5 лет	Очень низкое и низкое содержание P ₂ O ₅ по Кирсанову	50–60 кг/га в год P ₂ O ₅ сверх выноса урожаем для повышения содержания в почве на 10 мг/кг
Среднесуглинистые	При pH _{KCl} >5.5 и фоне органических удобрений 10 т/га в год поднимает содержание до оптимального за 5–10 лет	Очень низкое и низкое содержание P ₂ O ₅ по Кирсанову	70–90 кг/га в год P ₂ O ₅ сверх выноса урожаем для повышения содержания в почве на 10 мг/кг
Тяжелосуглинистые	При pH _{KCl} >5.5 и фоне органических удобрений 10 т/га в год (время не известно)	Очень низкое и низкое	100–120 кг/га в год P ₂ O ₅ сверх выноса урожаем для повышения содержания в почве на 10 мг/кг
Глинистые	При pH _{KCl} >5.5 и фоне органических удобрений 10 т/га в год (время не известно)	Очень низкое и низкое	100–120 кг/га сверх выноса урожаем для повышения содержания в почве на 10 мг/кг
Суглинистые и глинистые, глееватые и глеевые	Время не известно	–	150–160 кг/га P ₂ O ₅ для повышения содержания в почве на 10 мг/кг

Провинция Прибалтийская (восточная)

Таблица 21. Прогноз результатов антропогенных воздействий на содержание подвижных фосфатов в дерново-подзолистой почве

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Глинистые глееватые	Зернопропашной севооборот, на фоне известкования при содержании гумуса в пахотном слое 3.7–3.9%	P ₂ O ₅ по Кирсанову, мг/кг	кг/га/год P ₂ O ₅ для повышения содержания в почве на 10 мг/кг
		Без навоза	
		20	72
		60	170
		На фоне 18 т/га/год навоза	
		20	74
		120	150

		Без навоза	Убыль (агроистощение) на 10 мг/кг при дозе P ₂ O ₅ (кг/га/год)
		100	29
		90	5
		На фоне 18 т/га/год навоза	
		170	11
		160	3

Провинция Среднерусская (западная)

Таблица 22. Нормативы содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой почве по методу Кирсанова, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Суглинистые	—	160–210	400

Таблица 23. Прогноз результатов антропогенных воздействий на содержание подвижных фосфатов в дерново-подзолистой почве

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия		Доза воздействия для сдвига значений показателя
		P ₂ O ₅ в почве, мг/кг	Доза НК- по Кирсанову, кг/га в год	
Супесчаные	Плодосменный 8-польный севооборот, на фоне известкования доломитовой мукой и 60 т/га торфонавозного компоста	120	0	75
		160	0	220
		160	50	≈0
		200	50	360
		200	50	81
		240	50	170
		280	50	250
				Убыль (агроистощение) на 10 мг/кг при дозе P ₂ O ₅ (кг/га в год)
		160	0	100
		240	0	390
Легкосуглинистые на суглинистой морене	Плодосменный 7-польный севооборот на фоне известкования и внесения NPK-удобрений, при содержании гумуса 2%	P ₂ O ₅ в почве по Кирсанову, мг/кг	Число лет ежегодного внесения Р-удобрений	кг/га P ₂ O ₅ для повышения содержания в почве на 10 мг/кг
				40
				32
				25
				20

Продолжение таблицы 23

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия		Доза воздействия для сдвига значений показателя
		P_2O_5 в почве по Кирсанову, мг/кг	Дозы извести, ед. Нг навоза, т/га	
Легкосуглинистые на суглинистых и глинистых водноледниковых отложениях	Зернопашной 5-польный севооборот на фоне извести и навоза (внесены в начале ротации), К(60–150), при содержании гумуса 1.8–2.0%	40–60	0	0–120
		160–200	0	0–120
		50–80	1	0–120
		180–200	1	0–120
				кг/га в год P_2O_5 для повышения содержания в почве на 10 мг/кг
				43–45
				110–120
				41–45
				115–130
				Убыль (агроистощение) на 10 мг/кг при дозе P_2O_5 (кг/га/год)
		160	0	0
		140	0	0
Средне- и тяжелосуглинистые слабо- и среднесмытые на кровных суглинках	Зернопашной 5-польный севооборот на фоне извести 5.5 т/га и навоза 120 т/га на по- один раз за ротацию; Нг = 12–14 мг-экв/кг	170	0	40
		140	0	40
		200	0	120
		170	0	120
		200	1	0–120
		160–170	1	0–120
				кг/га/год P_2O_5 для повышения содержания в почве на 10 мг/кг
				74
		200		190
		260		
				Убыль (агроистощение) на 10 мг/кг при дозе P_2O_5 (кг/га в год)
		280		180
		190		10

Окончание таблицы 23

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия		Доза воздействия для сдвига значений показателя
		P_2O_5 в почве по Кирсанову, мг/кг	Дозы извести, ед. Нг навоза, т/га	
	То же, но навоз 60 т/га, и Нг = 15–60 мг-экв/кг	140		Повышение 75
		200		170
				Убыль (агроистощение) 180
	То же, но без навоза, и Нг = 19–83 мг-экв/кг	240		50
		160		Повышение 70
				170
		200		Убыль (агроистощение) 1950
		140		60

Провинция Среднерусская (восточная)

Таблица 24. Нормативы содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистых почвах по методу Кирсанова, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Среднесуглинистые	–	170–240	–

Подвижный (обменный) калий почвы

Таблица 25. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия по методу Кирсанова в дерново-подзолистых почвах в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	40	K ₂ O по Кирсанову, мг/кг —	—
		K ₂ O по Масловой, мг/кг 180–240	—
	50	Калийный потенциал, ккал –2.5...–2.9	—
Песчаные и супесчаные глееватые и глеевые	40	K ₂ O по Кирсанову, мг/кг 150–200	—
		K ₂ O по Масловой, мг/кг —	—
	50	K ₂ O по Кирсанову, мг/кг 150–300	—
Легко- и среднесуглинистые	40	K ₂ O по Масловой, мг/кг —	—
		Калийный потенциал, ккал –2.5...–2.9 для легкосуглинистых	—
	50	–2.9...–3.3 для среднесуглинистых	—
Тяжелосуглинистые и глинистые	40	K ₂ O по Кирсанову, мг/кг 170–300	—
		K ₂ O по Масловой, мг/кг —	—
	50	Калийный потенциал, ккал –2.9...–3.3	—
Суглинистые и глинистые глееватые и глеевые	100	K ₂ O по Кирсанову, мг/кг 200–300	—
		—	—

Таблица 26. Прогноз изменения содержания подвижного (обменного) калия в дерново-подзолистых почвах в целом при внесении калийных удобрений, мг/кг

Гранулометрический состав почв	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Песчаные и супесчаные	Время не известно	—	40–60 кг/га сверх выноса урожая для повышения содержания подвижного K ₂ O на 10 мг/кг
		—	Убыль (агроистощение) содержания подвижного K ₂ O на 10 мг/кг при дефиците баланса K ₂ O 31–63 кг/га
		—	60–80 кг/га сверх выноса урожая для повышения содержания подвижного K ₂ O на 10 мг/кг
Легко- и среднесуглинистые	Время не известно	—	Убыль (агроистощение) содержания подвижного K ₂ O на 10 мг/кг при дефиците баланса K ₂ O 40–45 кг/га
		—	80–100 кг/га сверх выноса урожая для повышения содержания подвижного K ₂ O на 10 мг/кг
		—	—
Тяжелосуглинистые и глинистые	Время не известно	—	—
		—	—

Провинция Прибалтийская (восточная)

Таблица 27. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия в дерново-подзолистых почвах, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	20	Озимая рожь K ₂ O по Кирсанову, мг/кг	200–300
Суглинистые		—	
	20	Озимая рожь K ₂ O по Кирсанову, мг/кг	400
		—	

Провинция Среднерусская (западная)

Таблица 28. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия в дерново-подзолистых почвах, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Легкосуглинистые	—	Лен-долгунец K ₂ O по Масловой	—
Среднесуглинистые		3.5 % от ЕКО Лен-долгунец K ₂ O по Масловой	
	—	2.6–2.9 % от ЕКО	—

Физические свойства почвы

Провинция Среднерусская (западная)

Таблица 29. Нормативы показателей физических свойств средне- и тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почв на покровных суглинках

Показатели физических свойств почв	Оптимальные	Допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см ³	1.10–1.30	1.30–1.50	> 1.50
Общая пористость, %	48–60	42–48	< 42
Пористость аэрации, при НВ, %	15–20	10–15	< 10
Содержание агрегатов 0,25–10 мм, %	70–85	50–70	< 50
Содержание агрегатов >10 мм, %	20–30	30–50	> 50
Содержание водопропрочных агрегатов >0.25 мм, %	40–50	10–40	< 10
Пористость агрегатов 5–7 мм, %	40–46	36–40	< 36
Водопроницаемость, мм/мин*	0.7–1.0	0.2–0.7	< 0.2
Наименьшая влагоемкость, % массы	28–30	24–28	< 24

*По установившейся скорости фильтрации.

Таблица 30. Прогноз уплотнения пахотного слоя (0–10 см) дерново-подзолистой суглинистой почвы на покровных суглинках с содержанием гумуса 2.2–2.5% после однократного прохода МТА

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³			
			1.20	1.25	1.35	1.45
60	180	18	1.31	1.37	1.44	1.50
		20	1.33	1.39	1.46	1.52
		22	1.36	1.42	1.48	1.54
		24	1.40	1.46	1.52	1.58
		26	1.46	1.53	1.59	1.65
		28	1.60	1.66	1.74	1.81

Примечание. Здесь и далее в таблицах по прогнозу уплотнения и прогнозу потери урожая: S, м²/г – активная удельная поверхность твердой фазы почвы; P, кПа – максимальное динамическое давление агрегата на поверхность почвы; W, % от массы – влажность почвы; жирным шрифтом выделены критические значения плотности.

Таблица 31. Прогноз потери урожая озимых зерновых культур после однократного прохода МТА (та же почва), %

S, м ² /г	Р, кПа	W, % от массы почвы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³			
			1.20	1.25	1.35	1.45
60	180	18	5-10	5-10	10-25	10-25
		20	5-10	5-10	10-25	25-50
		22	5-10	10-25	10-25	25-50
		24	5-10	10-25	25-50	25-50
		26	10-25	25-50	25-50	25-50
		28	25-50	25-50	50-75	50-70

Таблица 32. Прогноз уплотнения пахотного слоя (0-10 см) тяжелосуглинистой и среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы на покровных суглинках после однократного прохода МТА

S, м ² /г	Р, кПа	W, % от массы почвы	Исходная плотность пахотного слоя, г/см ³					
			1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60
65	50	16	1.16	1.25	1.34	1.42	1.52	1.61
		20	1.17	1.26	1.35	1.44	1.52	1.62
		24	1.18	1.27	1.35	1.44	1.53	1.62
	100	16	1.19	1.28	1.36	1.45	1.54	1.63
		20	1.21	1.29	1.38	1.46	1.55	1.63
		24	1.24	1.32	1.40	1.48	1.56	1.64
	150	16	1.21	1.29	1.38	1.47	1.55	1.63
		20	1.23	1.32	1.40	1.49	1.56	1.65
		24	1.28	1.37	1.44	1.52	1.59	1.66
	200	16	1.22	1.31	1.39	1.48	1.56	1.64
		20	1.25	1.34	1.42	1.50	1.58	1.66
		24	1.32	1.40	1.48	1.56	1.63	1.69
	45	16	1.19	1.28	1.37	1.46	1.54	1.64
		20	1.20	1.29	1.38	1.47	1.55	1.64
		24	1.21	1.30	1.39	1.47	1.55	1.64
	100	16	1.22	1.31	1.40	1.49	1.57	1.66
		20	1.25	1.33	1.42	1.51	1.59	1.67
		24	1.28	1.36	1.45	1.53	1.61	1.69
	150	16	1.25	1.34	1.43	1.52	1.59	1.68
		20	1.28	1.37	1.45	1.54	1.62	1.70
		24	1.32	1.41	1.50	1.58	1.66	1.74
	200	16	1.26	1.35	1.44	1.53	1.61	1.70
		20	1.30	1.39	1.48	1.57	1.64	1.73
		24	1.36	1.45	1.54	1.63	1.70	1.79

*По экспресс-методу П.М. Сапожникова, А. В. Шевченко (1989).

4.2. Лесостенная зона

Светло-серые лесные почвы

Таблица 33. Диагностическая характеристика суглинистых и глинистых светло-серых лесных почв, используемых в земледелии (Классификация..., 1977)

Показатель	Значение
Светло-серые лесные освоенные	
pH _{KCl} почти по всему профилю	4.0-4.7
Гор. Апах:	
содержание гумуса, %	1.5-2.5
С гк / С фк	0.7-0.9
ЕКО, мг-экв/кг	100-150
Гор. А1А2:	
мощность горизонта, см	Не превышает 10
содержание гумуса, %	Редко превышает 1-1.5
С гк / С фк	1.2-1.5
Гор. ВА2:	
мощность горизонта, см	10-20
содержание гумуса, %	0.5-1
Светло-серые лесные окультуренные	
pH _{KCl} по всему профилю	4.9-5.9
Степень насыщенности основаниями, %	От 80 до 90-98
Гор. Акт:	
содержание гумуса, %	До 4-5
С гк / С фк	1.2-1.5
ЕКО, мг-экв/кг	200-250
сумма обменных оснований, мг-экв/кг	150-200 и более
Гор. А1А2:	
содержание гумуса, %	2-3
С гк / С фк	1.2-1.3
ЕКО, мг-экв/кг	70-100
Гор. ВА2:	
содержание гумуса, %	1.5-2

Органическое вещество почв

Провинция Среднерусская

Таблица 34. Нормативы содержания гумуса в светло-серой лесной почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	0.4–1.0	1.2–1.6	До 2.5
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	0.8–1.5	1.8–2.6	До 3.3

Провинция Предуральная (Казанско-Сарапульский и Верхнеуфимский округа)

Таблица 35. Нормативы содержания гумуса в светло-серой лесной почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	1.2–2.0	2.2–2.8	До 3.6
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	1.6–2.5	3.0–4.0	До 4.5

(Собственно) серые лесные почвы

Таблица 36. Диагностическая характеристика суглинистых и глинистых (собственно) серых лесных почв, используемых в земледелии (Классификация почв..., 1977)

Показатель	Значение
pH _{KCl} по всему профилю	4.9–5.9
Степень насыщенности основаниями, %	От 80 до 90–98
Гор. Апах:	2–3.5
содержание гумуса, %	1.3–1.5
С гк / Сфк	200–250
ЕКО, мг-экв/кг	
Гор. А1А2:	1.5–2.5
содержание гумуса, %	2–3
С гк / Сфк	

Таблица 37. Характеристика архетипа пахотной серой лесной почвы на лёссовидном тяжелом суглинке (Козловский, 1998, 2003)

Показатель	Значение
Гор. Апах:	
содержание ила, %	10
углерод лабильный, %	0.4–0.8
углерод стабильный, %	0.6
общая пористость, %	50
содержание водопептизируемого ила (ВПИ), %	10
pH _{H2O}	5.5–6.5
Гор. А1А2подпах:	
содержание ила, %	10
углерод лабильный, %	0.1 и менее
углерод стабильный, %	0.3
общая пористость, %	45
содержание водопептизируемого ила (ВПИ), %	10
pH _{H2O}	5.0–6.0
Гор. АВ1:	
содержание ила, %	20
pH _{H2O}	4.5–5.5
балл оглеения	1

Органическое вещество почв

Провинция Среднерусская

Таблица 38. Нормативы содержания гумуса в серой лесной почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	1.2–2.0	2.3–3.0	До 3.9
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	1.6–2.5	3.0–4.0	До 4.5

Провинция Предуральская (Казанско-Сарапульский и Верхнеуфимский округа)

Таблица 39. Нормативы содержания гумуса в серой лесной почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	2.1–3.0	3.5–4.2	До 5.0
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	2.5–3.5	4.0–5.2	До 5.5

Подвижный фосфор почвы

Таблица 40. Нормативы содержания подвижных фосфатов по методу Кирсанова в серых и темно-серых лесных почвах в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Легкосуглинистые	60 (запасы 210 кг/га)	100–180 (200) (запасы 320–650 кг/га)	250–300 (запасы 900 кг/га)
Средне- и тяжелосуглинистые	75 (запасы 250 кг/га)	150–200 (запасы 600–660 кг/га)	300 (запасы 1300 кг/га)

Провинция Среднерусская (западная и центральная)

Таблица 41. Нормативы содержания подвижных фосфатов по методу Кирсанова в серых и темно-серых лесных почвах, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Легкосуглинистые	60–100 (запасы 210 кг/га)	100–200 (запасы 320–660 кг/га)	200 (запасы 900 кг/га)
Средне- и тяжелосуглинистые	75–80 (запасы 250–260 кг/га)	150–200 (запасы 600–660 кг/га)	300 (запасы 1300 кг/га)

Таблица 42. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в серые лесные почвы

Гранулометрический состав почв	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Средне- и тяжело-суглинистые на лёссовидных суглинках	Внесение N80P80K80 в течение 15–20 лет при интенсивности баланса фосфора 100–120% Гумус 2.5–3.0 % рН _{KCl} 6.0–6.5 Урожайность зерновых около 40 ц/га	—	Доза 130 кг/га P ₂ O ₅ для повышения содержания в почве на 10 мг/кг/год (изменение на 100–120 мг/кг по Кирсанову до оптимальных значений или в среднем на 6 мг/кг в год)

Подвижный (обменный) калий почвы

Провинция Среднерусская (западная и центральная)

Таблица 43. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия в серых и темно-серых лесных почвах, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Легкосуглинистые	60–90 (запасы 180–270 кг/га)	80–140 по Масловой (запасы 260–450 кг/га)	250–300 (запасы 1100 кг/га)
Средне- и тяжело-суглинистые	70 (запасы 230 кг/га)	150–200 по Масловой (запасы 500–660 кг/га)	300 (запасы 1100 кг/га)

Таблица 44. Прогноз изменения содержания подвижного (обменного) калия (мг/кг) в серых лесных почвах при внесении калийных удобрений, мг/кг

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Тяжелосуглинистые и легкоглинистые на лёссовидных суглинках	Внесение N80P80K80 в течение 15–20 лет с интенсивностью баланса калия 100–120% Гумус 2.5–3.0% рН _{KCl} 6.0–6.5 Урожайность зерновых около 40 ц/га	–	Доза 160–400 кг/га в год K ₂ O для повышения содержания на 10 мг/кг по Масловой (изменение содержания в почве на 30–90 мг/кг до оптимальных значений или 2–5 мг/кг в год)

Темно-серые лесные почвы

Таблица 45. Диагностическая характеристика суглинистых и глинистых темно-серых лесных почв, используемых в земледелии (Классификация..., 1977)

Показатель	Значение
Гор. Апах:	
содержание гумуса, %	3–4
рН _{KCl}	5.0–5.9

Таблица 46. Диагностическая характеристика пахотных почв типа агро-темно-серые (Классификация..., 2004; темно-серые лесные освоенные по Классификации..., 1977)

Показатель	Значение
Агротемногумусовый гор. PU:	
содержание гумуса, %	3.5–5.5
состав гумуса	Фульватно-гуматный

Таблица 47. Характеристика пахотных почв типа агроземы глинисто-иллювиальные, формирующихся из эродированных черноземов глинисто-иллювиальных и темно-серых почв (Классификация..., 2004)

Показатель	Значение
Реакция почвенной среды	От слабокислой до слабощелочной
Пахотный горизонт	
содержание гумуса, %	5–8 с преобладанием гуматов Са
С гк / С фк	1.5–2.0
плотность почвы (г/см ³)	≥ 1.4
структура почвы	Глыбистая неводопрочная с низкой внутриагрегатной пористостью

Органическое вещество почв

Провинция Среднерусская

Таблица 48. Нормативы содержания гумуса в темно-серой лесной почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	2.1–3.0	3.5–4.2	До 5.0
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	2.5–3.5	4.0–5.2	До 5.8

Провинция Предуральская (Казанско-Сарапульский и Верхнеуфимский округа)

Таблица 49. Нормативы содержания гумуса в темно-серой лесной почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	2.5–3.5	4.0–5.2	До 5.8
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	3.5–4.5	5.2–6.2	До 6.8

Подвижный фосфор почвы

Таблица 50. Нормативы содержания подвижных фосфатов по методу Кирсанова в серых и темно-серых лесных почвах в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Легкосуглинистые	60 (запасы 210 кг/га)	100–180 (200) (запасы 320–650 кг/га)	250–300 (запасы 900 кг/га)
Средне- и тяжелосуглинистые	75 (запасы 250 кг/га)	150–200 (запасы 600–660 кг/га)	300 (запасы 1300 кг/га)

Провинция Среднерусская (западная и центральная)

Таблица 51. Нормативы содержания подвижных фосфатов по методу Кирсанова в серых и темно-серых лесных почвах, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Легкосуглинистые	60–100 (запасы 210 кг/га)	100–200 (запасы 320–660 кг/га)	200 (запасы 900 кг/га)
Средне- и тяжелосуглинистые	75–80 (запасы 250–260 кг/га)	150–200 (запасы 600–660 кг/га)	300 (запасы 1300 кг/га)

Таблица 52. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в темно-серые лесные почвы

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Легкосуглинистые на лёссах	Внесение N80P80K80 в течение 10–15 лет при интенсивности баланса фосфора 100–120% Гумус 1.7–2.4% рН _{KCl} 5.8–6.5 Урожайность озимой пшеницы 40–50, картофеля 250–275 ц/га	–	Доза 160 кг/га для повышения содержания в почве на 10 мг/кг/год (изменение на 40–80 мг/кг по Кирсанову до оптимальных значений или в среднем на 5 мг/кг в год)

Подвижный (обменный) калий почвы

Таблица 53. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия в серых и темно-серых лесных почвах в целом (по методу Масловой), мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Легкосуглинистые	60 (запасы 210 кг/га)	80–140 (запасы 260–450 кг/га)	250–300 (запасы 1100 кг/га)
Средне- и тяжелосуглинистые	70 (запасы 230 кг/га)	180–200 (запасы 600–730 кг/га)	300 (запасы 1300 кг/га)

Провинция Среднерусская (западная и центральная)

Таблица 54. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия в серых и темно-серых лесных почвах в целом (по методу Масловой), мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Легкосуглинистые :	60–90 (запасы 180–270 кг/га)	80–140 (запасы 260–450 кг/га)	250–300 (запасы 1100 кг/га)
Средне- и тяжелосуглинистые	70 (запасы 230 кг/га)	150–200 (запасы 500–660 кг/га)	300 (запасы 1100 кг/га)

Таблица 55. Прогноз изменения содержания подвижного (обменного) калия в темно-серых лесных почвах при внесении калийных удобрений, мг/кг

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Легкосуглинистые на лёссах	Внесение N80P80K80 в течение 10–15 лет с интенсивностью баланса калия 100–120 % Гумус 1.7–2.4% рН _{KCl} 5.8–6.5 Урожайность озимой пшеницы 40–50, картофеля 250–275 ц/га	—	Доза 260 кг/га в год для повышения содержания на 10 мг/кг по Масловой (изменение содержания в почве на 20–50 мг/кг до оптимальных значений или в среднем около 3 мг/кг в год)

Черноземы лесостепной зоны в целом

Реакция почвенной среды

Таблица 56. Нормативы показателей кислотности черноземов в целом

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Средне- и тяжелосуглинистые	—	рН _{KCl} = 5.6–6.3	—

Таблица 57. Прогноз результатов антропогенных воздействий на показатели кислотности черноземов в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Тяжелосуглинистый и глинистый	Время не известно	Диапазон изменения Нг (мг-экв/кг)	т/га извести (CaCO_3) для уменьшения Нг на 10 мг-экв/кг
		18-25 25-30 30-50 $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	6.4 5.0 1.0
Тяжелосуглинистый и глинистый		Число лет после внесения извести	Доза извести в долях от начального значения Нг для увеличения pH на 0.1
		6.0 1-5	0.08-0.20
		$\text{pH}_{\text{KCl}} 4.7$	1 0.32 2 0.17 3 0.13 4 0.10 5 0.092 6-8 0.085-0.087 9 0.092 10 0.10 11 0.13 12 0.17
		$\text{pH}_{\text{KCl}} 5.2$	1 0.12-0.15 2 0.057-0.11 3 0.070-0.14 4 0.074-0.16 5 0.085-0.17
		Нг (мг-экв/кг)	Доза извести в долях от начального значения Нг для уменьшения Нг на 10 мг-экв/кг
		61	1 0.23-0.49 2 0.17-0.40 3 0.16-0.43 4 0.20-0.48 5 0.21-0.50

Подвижный фосфор почвы

Таблица 58. Нормативы содержания подвижного фосфора для черноземов в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Тяжелый	50 (запасы 180-220 кг/га)	130-220 по Чирикову 250-300 для овощных севооборотов (запасы 480-660 кг/га)	250 (запасы 700 кг/га)

Провинция Среднерусская (западная и центральная)

Таблица 59. Нормативы содержания подвижного фосфора для черноземов в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Тяжелый	12 10	100-200 по Чирикову 175 по Кирсанову	500-700 600

Провинция Предуральская

Таблица 60. Нормативы содержания подвижного фосфора для черноземов в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Тяжелый	- -	80-120 по Чирикову 170-200 по Кирсанову (70-80 для гороха)	- -

Провинция Предкавказская степная и лесостепная (южная)

Таблица 61. Нормативы содержания подвижного фосфора для черноземов в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Тяжелый	13	250 по Чирикову (для озимой пшеницы)	790

Подвижный (обменный) калий почвы

Таблица 62. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия для черноземов в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
—	30 (запасы 180–220 кг/га)	100–160 по Чирикову (250–300 для овощных севооборотов) 150–250 по Масловой (запасы 480–650 кг/га)	— (запасы 700 кг/га) 250–300 (запасы 1100–1300 кг/га)

Таблица 63. Прогноз изменения содержания подвижного (обменного) калия в черноземах в целом при внесении калийных удобрений, мг/кг

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
От песчаных до глинистых	За 5–10 лет увеличивают содержание в почве до оптимального при ежегодном внесении К-удобрений и 10 т/га органических удобрений	K ₂ O по Чирикову очень низкое и низкое	80–90 кг/га K ₂ O ежегодно для повышения содержания в почве на 10 мг/кг

Черноземы оподзоленные

Таблица 64. Характеристика черноземов оподзоленных, используемых в земледелии (Классификация..., 1977)

Показатель	Значение
Структура гумусового горизонта	Глыбисто-комковатая

Таблица 65. Характеристика пахотных почв типа агрочерноземы глинисто-иллювиальные (Классификация почв, 2004; черноземы оподзоленные и выщелоченные освоенные по Классификации почв 1977 г.)

Показатель	Значение
Структура пахотного горизонта	Дезинтеграция естественной структуры с образованием прочных блоков (измельчаемых орудиями обработки); неустойчива к увлажнению При переуплотнении – порошисто-глыбистая, спрессованная, практически лишенная внутриагрегатных пор; сильно растрескивается в сухом состоянии с образованием крупных тумбовидных блоков 30–50 см в диаметре; плотность почвы до 1.4 г/см ³ и более

Таблица 66. Характеристика пахотных почв типа агроземы глинисто-иллювиальные, формирующихся из эродированных черноземов глинисто-иллювиальных и темно-серых почв (Классификация..., 2004)

Показатель	Значение
Реакция почвенной среды	От слабокислой до слабощелочной
Пахотный горизонт: содержание гумуса, %	5–8 с преобладанием гуматов Са
С гк / С фк	1.5–2.0
плотность почвы, г/см ³	≥ 1.4
структура почвы	Глыбистая неводопрочная с низкой внутриагрегатной пористостью

Органическое вещество почвы

Провинции Среднерусская и Предкавказская степная и лесостепная (южная, Кубанский и Ставропольский округа)

Таблица 67. Нормативы содержания гумуса в черноземах оподзоленных, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	1.6–2.5	3.0–3.8	До 4.5
Легко- и среднесуглинистые	2.0–3.0	3.2–4.2	До 5.0
Тяжелосуглинистые и глинистые	3.0–4.0	4.5–5.5	До 6.0

Провинция Предуральская

Таблица 68. Нормативы содержания гумуса в черноземах оподзоленных, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	3.0–4.0	4.5–5.5	До 6.0
Легко- и среднесуглинистые	4.0–5.0	5.5–6.5	До 7.0
Тяжелосуглинистые и глинистые	5.0–6.0	6.5–7.5	До 8.0

Подвижный фосфор почвы

Таблица 69. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в оподзоленные и выщелоченные черноземы

Гранулометрический состав почв	Дополнительная ин-формация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Песчаные, супесчаные, легкосуглинистые	Дозы минеральных удобрений – ежегодные	P_2O_5 Низкое и очень низкое	80–90 кг/га для повышения содержания P_2O_5 почвы на 10 мг/кг
Среднесуглинистые	Фосфоритная мука повышает содержание подвижного фосфора в почве за 2–4 года		90–100 кг/га
Тяжелосуглинистые и глинистые	Фосфоритная мука повышает содержание подвижного фосфора в почве за 2–4 года		100–120 кг/га
Легкосуглинистые	Фосфоритная мука повышает содержание в почве за 2–4 года	Среднее	70 кг/га
Среднесуглинистые			80 кг/га
Тяжелосуглинистые			90 кг/га

Физические свойства почвы

Провинция Среднерусская

Таблица 70. Прогноз уплотнения пахотного слоя почвы глинистого гранулометрического состава на элювиально-делювиальных отложениях с содержанием гумуса 7.5–8.5% и на покровных суглинках с содержанием гумуса 6.2–7.2% после двукратного прохода МТА при различных сочетаниях влажности и исходной плотности черноземов оподзоленных

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы почвы	Исходная плотность, г/см ³						
			0.85	0.90	1.00	1.10	1.15	1.20	1.25
145	80	14	0.97	1.01	1.10	1.19	1.23	1.27	1.31
		18	1.00	1.04	1.12	1.20	1.25	1.29	1.33
		22	1.03	1.08	1.14	1.22	1.26	1.30	1.34
		26	1.09	1.11	1.18	1.24	1.29	1.32	1.36
	140	14	0.99	1.04	1.11	1.21	1.24	1.28	1.33
		18	1.03	1.07	1.14	1.23	1.26	1.30	1.35
		22	1.07	1.11	1.18	1.27	1.30	1.33	1.37
		26	1.15	1.18	1.24	1.32	1.35	1.39	1.42
	185	14	1.02	1.06	1.14	1.24	1.27	1.32	1.36
		18	1.06	1.10	1.17	1.26	1.29	1.34	1.38
		22	1.11	1.15	1.22	1.31	1.34	1.37	1.41
		26	1.22	1.25	1.31	1.39	1.41	1.46	1.49
135	80	14	0.98	1.02	1.11	1.19	1.23	1.27	1.32
		18	1.00	1.05	1.12	1.20	1.25	1.29	1.33
		22	1.04	1.08	1.15	1.23	1.27	1.31	1.35
		26	1.08	1.12	1.18	1.26	1.29	1.33	1.37
	140	14	1.00	1.04	1.12	1.20	1.25	1.29	1.33
		18	1.03	1.07	1.15	1.23	1.27	1.31	1.35
		22	1.08	1.12	1.19	1.27	1.30	1.34	1.38
		26	1.16	1.19	1.26	1.33	1.37	1.40	1.43
	185	14	1.03	1.07	1.15	1.23	1.28	1.32	1.36
		18	1.06	1.10	1.18	1.26	1.30	1.34	1.38
		22	1.12	1.16	1.23	1.31	1.34	1.38	1.42
		26	1.23	1.26	1.33	1.40	1.44	1.46	1.50

Черноземы выщелоченные

Таблица 71. Характеристика пахотных почв типа агрочерноземы глинисто-иллювиальные (Классификация..., 2004; черноземы оподзоленные и выщелоченные освоенные по Классификации..., 1977)

Показатель	Значение
Структура пахотного горизонта	Дезинтеграция естественной структуры с образованием прочных блоков (измельчаемых орудиями обработки); неустойчива к увлажнению При переуплотнении – порошисто-глыбистая, спрессованная, практически лишенная внутриагрегатных пор; сильно растрескивается в сухом состоянии с образованием крупных тумбовидных блоков 30–50 см в диаметре; плотность почвы до 1.4 г/см ³ и более

Таблица 72. Характеристика пахотных почв типа агроземы глинисто-иллювиальные, формирующихся из эродированных черноземов глинисто-иллювиальных и темно-серых почв (Классификация..., 2004)

Показатель	Значение
Реакция почвенной среды	От слабокислой до слабощелочной
Пахотный горизонт: содержание гумуса, %	5–8 с преобладанием гуматов Са 1.5–2.0
С гк / С фк	≥ 1.4
плотность почвы, г/см ³	Глыбистая неводопрочная с низкой внутриагрегатной пористостью
структура почвы	

Органическое вещество почв

Провинции Среднерусская и Предкавказская степная и лесостепная (южная, Кубанский и Ставропольский округа)

Таблица 73. Нормативы содержания гумуса в черноземах выщелоченных, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	2.5–3.5	3.5–4.5	До 5.5
Легко- и среднесуглинистые	3.5–4.5	4.7–5.7	До 6.5
Тяжелосуглинистые и глинистые	4.5–5.5	6.0–7.0	До 7.5

Провинция Предуральская

Таблица 74. Нормативы содержания гумуса в черноземах выщелоченных, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	4.0–5.0	5.5–6.5	До 7.0
Легко- и среднесуглинистые	5.0–6.0	6.2–7.4	До 8.0
Тяжелосуглинистые и глинистые	6.0–7.0	7.0–8.5	До 9.0

Подвижный фосфор почвы

Таблица 75. Нормативы содержания подвижного фосфора в черноземах выщелоченных в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Тяжелый	80–90 (запасы 180–200 кг/га)	150–200 по Чирикову (запасы 480–660 кг/га)	200 (запасы 700 кг/га)

Таблица 76. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в оподзоленные и выщелоченные черноземы в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Песчаные, супесчаные, легкосуглинистые	Дозы минеральных удобрений – ежегодные.	P_2O_5 Низкое и очень низкое	80–90 кг/га для повышения содержания P_2O_5 почвы на 10 мг/кг
Среднесуглинистые	Фосфоритная мука повышает содержание подвижного фосфора в почве за 2–4 года		90–100 кг/га
Тяжелосуглинистые и глинистые			100–120 кг/га
Легкосуглинистые	Фосфоритная мука повышает содержание в почве за 2–4 года	Среднее	70 кг/га
Среднесуглинистые			80 кг/га
Тяжелосуглинистые			90 кг/га

Провинция Среднерусская (западная и центральная)

Таблица 77. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в оподзоленные и выщелоченные черноземы

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Тяжелосуглинистые и легкосуглинистые	Внесение N60P60K60 в течение 10–15 лет при интенсивности баланса 100–110% Гумус 6.0–7.0% рН _{KCl} 6.2–6.5 Урожайность озимой пшеницы ≥ 50, сахарной свеклы 450–500 ц/га	—	80 кг/га в год P ₂ O ₅ для повышения содержания в почве на 10 мг/кг/год по Чирикову (Изменения содержания в почве по Чирикову на 70–120 мг/кг до оптимальных значений или в среднем около 7.5 мг/кг в год)

Подвижный (обменный) калий почвы

Таблица 78. Прогноз изменения содержания подвижного (обменного) калия в черноземах выщелоченных в целом при внесении калийных удобрений, мг/кг

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Тяжелосуглинистые и легкосуглинистые	Внесение N60P60K60 в течение 15–20 лет при интенсивности баланса калия 100–110% Гумус 6–7% рН _{KCl} 6.2–6.5 Урожайность озимой пшеницы ≥ 50, сахарной свеклы 450–500 ц/га	—	Доза 150 кг/га в год для повышения содержания K ₂ O в почве на 10 мг/кг по Масловой (повышение содержания на 50–100 мг/кг до оптимальных значений или в среднем около 4 мг/кг за год)

Физические свойства почвы

Провинция Среднерусская (западная)

Таблица 79. Нормативы показателей физических свойств пахотного слоя для черноземов тяжелосуглинистого гранулометрического состава на лёссовидных суглинках при антропогенном воздействии

Показатели физических свойств почв	Оптимальные	Допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см ³	1.10–1.25	1.25–1.35	>1.35
Общая пористость, %	55–60	45–55	<45
Пористость аэрации при НВ, %	15–25	10–15	<10
Содержание агрегатов 0.25–10 мм, %	70–80	50–70	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	20–30	30–50	>50
Содержание водопрочных агрегатов > 0.25 мм, %	40–60	30–40	<30
Пористость агрегатов 5–7 мм, %	40–45	36–40	<36
Водопроницаемость, мм/мин*	1.0–1.5	0.5–1.0	0.2–0.5
Наименьшая влагоемкость, %	32–36	26–32	<26

*По установившейся скорости фильтрации.

Таблица 80. Прогноз уплотнения пахотного слоя чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого состава с содержанием гумуса 4,5–4,7% после двукратного прохода МТА

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы	Исходная плотность, г/см ³						
			0.85	0.90	1.00	1.10	1.15	1.20	1.25
100	80	14	1.01	1.05	1.12	1.20	1.25	1.29	1.32
		18	1.03	1.07	1.15	1.22	1.27	1.31	1.35
		22	1.07	1.10	1.18	1.25	1.29	1.33	1.37
		26	1.13	1.16	1.22	1.29	1.33	1.37	1.39
	140	14	1.03	1.07	1.15	1.23	1.28	1.32	1.35
		18	1.07	1.11	1.19	1.26	1.30	1.35	1.38
		22	1.13	1.16	1.24	1.31	1.35	1.39	1.41
		26	1.23	1.26	1.33	1.39	1.42	1.46	1.48
	185	14	1.06	1.10	1.18	1.26	1.30	1.35	1.38
		18	1.10	1.40	1.22	1.29	1.34	1.38	1.41
		22	1.16	1.20	1.27	1.35	1.39	1.43	1.45
		26	1.30	1.33	1.40	1.46	1.49	1.53	1.55
125	80	14	0.98	1.02	1.11	1.19	1.23	1.28	1.32
		18	1.01	1.05	1.13	1.21	1.25	1.29	1.33
		22	1.04	1.08	1.16	1.24	1.27	1.31	1.35
		26	1.09	1.13	1.19	1.27	1.30	1.33	1.37
	140	14	1.00	1.04	1.13	1.21	1.25	1.29	1.33
		18	1.04	1.08	1.16	1.24	1.28	1.31	1.35
		22	1.09	1.13	1.20	1.28	1.32	1.35	1.38
		26	1.17	1.21	1.27	1.34	1.38	1.41	1.43
	185	14	1.03	1.07	1.16	1.24	1.28	1.32	1.36
		18	1.10	1.12	1.19	1.27	1.31	1.34	1.38
		22	1.13	1.17	1.24	1.32	1.36	1.39	1.42
		26	1.24	1.28	1.34	1.41	1.45	1.48	1.50

Таблица 81. Прогноз потери урожая зерновых озимых культур при уплотнении чернозема выщелоченного после двукратного прохода МТА, %

S, м ² /г	P, кПа	W, % от мас- сы	Исходная плотность, г/см ³						
			0.85	0.90	1.00	1.10	1.15	1.20	1.25
100	80	14	0	0	0	0	0	5-10	10-25
		18	0	0	0	0	0	5-10	10-25
		22	0	0	0	0	5-10	10-25	10-25
		26	0	0	0	5-10	10-25	10-25	25-50
	140	14	0	0	0	0	0	5-10	10-25
		18	0	0	0	0	5-10	10-25	10-25
		22	0	0	0	5-10	10-25	25-50	25-50
		26	0	0	5-10	10-25	25-50	50-75	50-75
	185	14	0	0	0	0	5-10	10-25	10-25
		18	0	0	0	0	10-25	10-25	25-50
		22	0	0	0	10-25	25-50	25-50	25-50
		26	5-10	5-10	25-50	50-75	50-75	50-75	>75
125	80	14	0	0	0	0	5-10	10-25	25-50
		18	0	0	0	0	10-25	10-25	25-50
		22	0	0	0	5-10	10-25	25-50	25-50
		26	0	0	0	10-25	10-25	25-50	50-75
	140	14	0	0	0	0	10-25	10-25	25-50
		18	0	0	0	5-10	10-25	25-50	25-50
		22	0	0	0	10-25	25-50	25-50	50-75
		26	0	0	10-25	25-50	50-75	50-75	>75
	185	14	0	0	0	5-10	10-25	25-50	25-50
		18	0	0	0	10-25	25-50	25-50	50-75
		22	0	0	5-10	25-50	25-50	>75	50-75
		26	5-10	10-25	25-50	50-75	>75	>75	>75

Провинции Среднерусская (восточная) и Предуральская

Таблица 82. Нормативы физических свойств пахотного слоя чернозема выщелоченного легкоглинистого гранулометрического состава на покровных суглинках и глинах при антропогенном воздействии

Показатели физичес- ских свойств почв	Оптималь- ные	Допустимые	Критические
Равновесная плот- ность, г/см ³	1.00-1.20	1.20-1.30	>1.30 (1.35)
Общая пористость, %	55-60	50-55	<50
Пористость аэрации при НВ, %	15-25	10-15	<10
Содержание агрегатов 0.25-10 мм, %	70-80	50-70	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	20-30	30-50	>50
Содержание водо- прочных агрегатов > 0.25 мм, %	40-80	30-40	<30
Водопроницаемость, мм/мин*	1.0-1.5	0.5-1.0	0.2-0.5
Наименьшая влагоем- кость, %	34-40	28-34	<28

* По установившейся скорости фильтрации.

Черноземы типичные

Таблица 83. Экспертное описание характеристик естественного подтипа почв: черноземы миграционно-мицелярные (Лебедева, 1987) (подтип черноземов типичных по Классификации..., 1977 г.)

Показатель	Значение
Общая мощность профиля, см	От 50 до 200 и более
Мощность дернового горизонта, см	3–10
Мощность гумусового горизонта, см	От 30 до 70 и более
Мощность гор. А+АВ, см	От 30 до 180
Структура гумусового горизонта	Зернистая
Структура гор. АВ	Комковатая
Водный режим	Промывной сезонно-сухой или непромывной
Особенности увлажнения	Нет переувлажнения
Глубина грунтовых вод, м	От 3 до 7 и более
Химизм почвообразующих пород	Слабокарбонатные и карбонатные (негипсовые, незасоленные) или гипсовые (карбонатные, незасоленные или слабозасоленные) или слабозасоленные (карбонатные, негипсоносные) или гипсоносные
Содержание гумуса, %	От 4 до 8
С гк / С фк	≥ 1
Реакция среды	Нейтральная или слабощелочная

Таблица 84. Характеристика черноземов типичных, используемых в земледелии (Классификация..., 1977)

Показатель	Значение
Разделение почв по степени смытости (при глубине вспашки не менее 22 см и первоначальной мощности гумусового горизонта более 50 см)	Слабосмытые – гор. А смыт на 30%, мощность подпахотного гумусового слоя уменьшена до 25% от начального, запас гумуса уменьшен на 10% Среднесмытые – гор. А смыт более чем на 50%. Сильносмытые – гор. А смыт полностью, частично смыт гор. В1; пахотный слой буроватый и бурый, сильно выражена глыбистость и склонность к образованию корки

Таблица 85. Характеристика пахотных почв типа агрочерноземы (Классификация..., 2004; черноземы типичные и обыкновенные, частично выщелоченные освоенные по Классификации..., 1977)

Показатель	Значение
Наличие агротемногумусового горизонта (PU)	На месте верхней части темного гумусового горизонта (AU) естественных почв
Содержание гумуса в гор. PU	Пониженное по сравнению с AU (от 3 до 8–9%) с преимущественно лабильными, не закрепленными Са, гумусовыми веществами
Содержание гумуса в гор. PU разных подтипов	Близкое
Структура гор. PU	Распыленная почвенная масса, консолидированная в прочные блоки, измельчаемые орудиями на отдельности, неустойчивые к увлажнению
Внутриагрегатная пористость	Практически отсутствует

Таблица 86. Характеристика архетипа пахотного чернозема типичного на лёссовидном тяжелом суглинке (Козловский, 1998, 2003)

Показатель	Значение
Гор. Апах:	
содержание ила, %	18
углерод лабильный, %	0.3–0.5
углерод стабильный, %	3.1
общая пористость, %	50
содержание воднопептизируемого ила (ВПИ), %	8
pH _{н,о}	5.5–6.5
Гор. А1подпах:	
углерод лабильный, %	0.3–0.5
углерод стабильный, %	3.1
общая пористость, %	45
pH _{н,о}	5.5–6.5
Гор. АВ:	
общая пористость, %	40

Органическое вещество почвы

Провинции Среднерусская лесостепная и Предкавказская степная и лесостепная (южная)

Таблица 87. Нормативы содержания гумуса в черноземе типичном, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	2.5–3.5	3.5–4.5	До 5.5
Легко- и среднесуглинистые	3.5–4.5	4.7–5.7	До 6.5
Тяжелосуглинистые и глинистые	4.5–5.5	6.0–7.0	До 7.5

Провинция Предуральская

Таблица 88. Нормативы содержания гумуса в черноземе типичном, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	4.0–5.0	5.5–6.5	До 7.0
Легко- и среднесуглинистые	5.0–6.0	6.2–7.4	До 8.0
Тяжелосуглинистые и глинистые	6.0–7.0	7.0–8.5	До 9.0

Подвижный фосфор почвы

Таблица 89. Нормативы содержания подвижного фосфора в черноземах типичных в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Тяжелый	80–120	150–200 по Чирикову	300
	(запасы 180–280 кг/га)	(запасы 480–660 кг/га)	(запасы 900 кг/га)

Таблица 90. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в черноземы типичные в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Песчаные и супесчаные	—	P_2O_5 низкое и очень низкое	90–100 кг/га ежегодно для повышения содержания P_2O_5 почвы на 10 мг/кг
Среднесуглинистые			100–110 кг/га
Тяжелосуглинистые и глинистые			120–130 кг/га

Провинция Среднерусская (западная и центральная)

Таблица 91. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в черноземы типичные

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Тяжелосуглинистые и легкоглинистые на лёссовидных суглинках	Внесение $N60P60K60$ в течение 15–20 лет при интенсивности баланса фосфора 100–115% Гумус 5.5–7.0% pH_{KCl} 5.6–6.0 Урожайность озимой пшеницы 40–55, ячменя 30–55, картофеля 300, сахарной свеклы 400–500, кукурузы на силос 350–400 ц/га	—	100–150 кг/га в год P_2O_5 для повышения содержания в почве на 10 мг/кг/год (изменения содержания в почве по Чирикову на 60–120 мг/кг до оптимальных значений или в среднем около 4–6 мг/кг в год)

Подвижный (обменный) калий почвы

Таблица 92. Прогноз результатов внесения калийных удобрений в черноземы типичные в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное значение показателя, дополнительные условия	Доза воздействия для сдвига значений показателя
Тяжелосуглинистые и легкоглинистые	Внесение N60P60K60. в течение 15–20 лет при интенсивности баланса калия 100–110% Гумус 6–7% рН _{KCl} 5.6–6.0 Урожайность озимой пшеницы 40–45, сахарной свеклы 400–500 ц/га	—	Доза 100 кг/га в год K ₂ O для повышения содержания в почве на 10 мг/кг по Масловой (повышение содержания на 80–120 мг/кг до оптимальных значений или в среднем около 6 мг/кг за год)
Тяжелосуглинистые мощные на лёссовидном суглинке	Внесение N60P60K60 в течение 10–15 лет при интенсивности баланса калия 115–120% Гумус 5–7% рН _{KCl} 5.6–6.0 Урожайность озимой пшеницы 40–45, ячменя 30–55, сахарной свеклы 400–500, кукурузы на силос 350–400 ц/га	—	Доза 300 кг/га в год K ₂ O для повышения содержания в почве на 10 мг/кг по Масловой (повышение содержания на 20–30 мг/кг до оптимальных значений или в среднем около 2 мг/кг за год)

Физические свойства почвы

Провинция Среднерусская (западная)

Таблица 93. Нормативы показателей физических свойств пахотного слоя чернозема типичного тяжелосуглинистого гранулометрического состава на лёссовидных суглинках

Показатели физических свойств почв	Оптимальные	Допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см ³	1.10–1.25	1.25–1.35	>1.35
Общая пористость, %	55–60	55–45	<45
Пористость аэрации при НВ, %	15–25	10–15	<10
Содержание агрегатов 0.25–10 мм, %	70–80	70–50	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	20–30	30–50	>50
Содержание водопрочных агрегатов > 0.25 мм, %	40–60	40–30	<30
Пористость агрегатов 5–7 мм, %	40–45	40–36	<36
Водопроницаемость, мм/мин*	1.0–1.5	1.0–0.5	0.5–0.2
Наименьшая влагоемкость, %	32–36	32–26	<26

*По установившейся скорости фильтрации.

Таблица 94. Прогноз уплотнения пахотного слоя чернозема типичного тяжелосуглинистого состава на лёссовидных суглинках с содержанием гумуса 5.5–6.5 % после двукратного прохода МТА при различных сочетаниях влажности и исходной плотности

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы	Исходная плотность, г/см ³						
			0.85	0.90	1.00	1.10	1.15	1.20	1.25
115	80	14	0.99	1.03	1.12	1.20	1.24	1.28	1.32
		18	1.02	1.06	1.14	1.22	1.26	1.29	1.33
		22	1.05	1.10	1.17	1.25	1.28	1.31	1.35
		26	1.10	1.13	1.21	1.28	1.31	1.34	1.37
	140	14	1.01	1.05	1.14	1.22	1.26	1.30	1.34
		18	1.05	1.10	1.17	1.25	1.29	1.32	1.36
		22	1.11	1.15	1.22	1.30	1.32	1.35	1.39
		26	1.19	1.23	1.29	1.37	1.39	1.42	1.45
	185	14	1.04	1.08	1.17	1.25	1.29	1.33	1.37
		18	1.08	1.12	1.20	1.28	1.32	1.36	1.39
		22	1.15	1.19	1.26	1.34	1.36	1.39	1.43
		26	1.26	1.30	1.36	1.44	1.46	1.49	1.52

Провинции Среднерусская (восточная) и Предуральская

Таблица 95. Нормативы физических свойств пахотного слоя чернозема типичного легкоглинистого гранулометрического состава на покровных суглинках и глинах

Показатели физических свойств почв	Оптимальные	Допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см ³	1.00–1.20	1.20–1.30	>1.30 (1.35)
Общая пористость, %	55–60	50–55	<50
Пористость аэрации при НВ, %	15–25	10–15	<10
Содержание агрегатов 0.25–10 мм, %	70–80	50–70	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	20–30	30–50	>50
Содержание водопрочных агрегатов > 0.25 мм, %	40–80	30–40	<30
Водопроницаемость, мм/мин*	1.0–1.5	0.5–1.0	0.2–0.5
Наименьшая влагоемкость, %	34–40	28–34	<28

* По установившейся скорости фильтрации.

4.3. СТЕПНАЯ ЗОНА

Черноземы степной зоны

Таблица 96. Характеристика пахотных почв типа агрочерноземы (Классификация..., 2004; черноземы типичные и обыкновенные, частично выщелоченные освоенные по Классификации..., 1977)

Показатель	Значение
Наличие агротемногумусового горизонта (PU)	На месте верхней части темногумусового горизонта (AU) естественных почв
Содержание гумуса в гор. PU	Пониженное по сравнению с гор. AU (от 3 до 8–9%) с преимущественно лабильными, не закрепленными Са, гумусовыми веществами
Содержание гумуса в гор. PU разных подтипов	Близкое
Структура гор. PU	Распыленная почвенная масса, консолидированная в прочные блоки, измельчаемые орудиями на отдельности, неустойчивые к увлажнению
Внутриагрегатная пористость	Практически отсутствует

Засоленность и щелочность почвы

Таблица 97. Нормативы уровня засоленности и щелочности в черноземах степной зоны

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
—	—	Содержание в почве токсичных солей, %:	
	—	без соды < 0.10	0.31–0.50
	—	с содой < 0.05	0.11–0.30
	—	Токсичная щелочность, мг-экв/кг < 7	11–15
	—	Обменный Na, % от ЕКО < 1	4–5
	—	Обменный Mg, % от ЕКО < 30	41–60

Провинция Украинская (восточная)

Таблица 98. Нормативы уровня засоленности и щелочности в черноземах и темно-каштановых почвах (орошаемое земледелие)

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
—	—	Соотношения активностей (а) ионов в почвенной пасте на нижней границе текучести: $aNa / (aCa)^{1/2} \leq 1$ $pH - pNa \leq 3.5 - 4.0$ $pNa - 0.5 \cdot pCa \geq 1.35$ $(pH - pNa) / (pNa - 0.5 \cdot pCa) \leq 3$	3–7 5.0–5.5 — 6–11
	0.5–0.9		
	—		

Азот почвы

Таблица 99. Нормативы содержания форм азота в черноземах в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
—	—	Нитрификационная способность по Кравкову > 30	—
	10–19		

Подвижный фосфор почвы

Таблица 100. Нормативы содержания подвижных фосфатов в черноземах в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Тяжелые некарбонатные	20–40	Метод Чирикова 100–180	250–260
Тяжелые карбонатные	15–25	Метод Мачигина 40–60 (25–35 для озимой пшеницы); запасы (кг/га) 130–200	70–90
	30–50		230–300

Таблица 101. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в черноземы в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное содержание фосфора, дополнительные воздействия	Доза внесения действующего вещества удобрений
Тяжелосуглинистые и глинистые карбонатные	Фосфатное равновесие в почве устанавливается при средних дозах Р-удобрений примерно через 1 год, при высоких дозах — дольше	Низкое и очень низкое в пахотном слое (0–30 см) по Мачигину	110–140 кг/га при разовом внесении для повышения содержания P_2O_5 в почве на 10 мг/кг
Тяжелосуглинистые и глинистые карбонатные	—	В пахотном (0–30 см) слое по Мачигину, мг/кг 20 40 60 80 100	Хозяйственный баланс P_2O_5 для среднегодового повышения содержания в почве на 10 мг/кг 20 кг/га в год 60 130 230 370 То же для уменьшения содержания в почве на 10 мг/кг (агроистощения) –140 кг/га в год –95 –25 +70 +210

Подвижный (обменный) калий почвы

Таблица 102. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия в черноземах (обыкновенных и южных), мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Некарбонатные	≥ 40	Метод Чирикова	—
Карбонатные		Метод Мачигина	
	100–200	150–180 300–400	—

Черноземы обыкновенные

Таблица 103. Архетип пахотного чернозема обыкновенного на водоразделах и пологих склонах на лёссовидной глине (Козловский, 1998, 2003)

Показатель	Значение
Гор. Апах:	
содержание стабильного углерода, %	3.0
пористость, %	45
воднопептизируемый ил (ВПИ), %	30
содержание лабильного углерода, %	0.3–0.4
Гор. А1 подпахотный:	
содержание стабильного углерода, %	2.1
пористость, %	40
ВПИ, %	20
содержание лабильного углерода, %	0.2–0.3
Гор. А1В:	
пористость, %	40
pH _{H2O}	8.6
ВПИ, %	20
содержание лабильного углерода, %	<0.1
Гор. В _{сг} :	38
пористость, %	8.8
pH _{H2O}	

Примечание. Лабильный углерод рассчитывается как возможные потери при минерализации. Стабильный углерод – разность между органическим углеродом почвы и лабильным углеродом.

Органическое вещество почв

Провинции Южнорусская и Заволжская

Таблица 104. Нормативы содержания гумуса в черноземе обыкновенном, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	3.0–4.0	4.0–5.0	До 6.0
Легко- и среднесуглинистые	4.0–5.0	5.2–6.2	До 7.0
Тяжелосуглинистые и глинистые	5.0–6.0	6.5–7.5	До 8.0

Азот почвы

Провинция Предкавказская (северная)

Таблица 105. Прогноз результатов внесения азотных удобрений в черноземы обыкновенные

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное содержание азота, дополнительные воздействия	Суммарное поступление азота в почву
—	Почвы карбонатные Зернопропашные и зернопропашные севообороты при средних дозах удобрений P50K8	—	92.5 кг/га в год для поддержания нулевого баланса азота почвы

Провинция Заволжская

Таблица 106. Нормативы содержания форм азота почвы в черноземах (обыкновенных и южных), мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Средне- и тяжелосуглинистые на покровных суглинках и карбонатной морене	—	Гидролизующий азот в пахотном слое 55–64	—

Таблица 107. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в черноземы

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное содержание фосфора, дополнительные воздействия	Доза внесения действующего вещества удобрений
Среднесуглинистые	Зернопаропропашные и пропашные севообороты при дозах N(20–30) и K(20–40)	—	P(32–39) + навоз 2.5–5.0 т/га/год для поддержания нулевого хозяйственного баланса P_2O_5
Тяжелосуглинистые карбонатные	При дозах K(0–120) в год	По Мачигину, мг/кг Низкое (12) Среднее (17) Среднее (22)	Для повышения содержания P_2O_5 почвы в среднем за год на 10 мг/кг 50–150 кг/га/год 160–290 330–600 То же для уменьшения содержания на 10 мг/кг в среднем за год (агроистощение)
		Среднее (22)	130–240 кг/га/год

Провинции Южнорусская и Заволжская

Таблица 108. Нормативы показателей физических свойств пахотного слоя черноземов тяжелосуглинистого и легкосуглинистого гранулометрического состава на тяжелых суглинках и глинах

Показатели физических свойств почв	Оптимальные	Допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см ³	1.0–1.20	1.20–1.30	>1.30
Общая пористость, %	55–65	45–50	<45
Пористость аэрации при НВ, %	15–25	7–15	<7
Содержание агрегатов 0.25–10 мм, %	70–85	50–70	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	<30	30–50	>50
Содержание водопрочных агрегатов > 0.25 мм, %	40–70	30–40	<30
Пористость агрегатов 5–7 мм, %	40–42	36–40	<36
Водопроницаемость, мм/мин*	>1.0	0.5–1.0	<0.5
Наименьшая влагоемкость, %	36–40	28–36	<28

*По установившейся скорости фильтрации.

Провинция Южнорусская

Таблица 109. Прогноз уплотнения пахотного слоя (0–10 см) черноземов обыкновенных тяжелосуглинистого состава с содержанием гумуса 7.3% после однократного прохода МТА при различных сочетаниях влажности и исходной плотности

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³					
			0.93	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40
110	80	20	1.02	1.10	1.17	1.24	1.39	1.46
		24	1.05	1.12	1.19	1.26	1.40	1.47
		28	1.08	1.15	1.21	1.28	1.41	1.48
		30	1.11	1.17	1.24	1.30	1.42	1.49
	180	20	1.06	1.13	1.20	1.27	1.41	1.48
		24	1.10	1.17	1.24	1.31	1.44	1.50
		28	1.20	1.27	1.33	1.40	1.52	1.57
		30	1.30	1.38	1.45	1.52	1.65	1.68

Таблица 110. Прогноз потери урожая озимых зерновых культур при уплотнении чернозема обыкновенного после однократного прохода МТА, %

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы почвы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³					
			0.95	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40
110	80	20	0	0	0	0	25-50	50-75
		24	0	0	0	0	25-50	50-75
		28	0	0	0	5-10	25-50	50-75
		30	0	0	0	5-10	25-50	>75
	180	20	0	0	0	5-10	25-50	50-75
		24	0	0	0	10-25	25-50	>75
		28	0	0	10-25	25-50	>75	>75
		30	10-25	25-50	50-75	>75	>75	>75

Таблица 111. Прогноз уплотнения пахотного слоя чернозема обыкновенного карбонатного легкоглинистого с содержанием гумуса 5% после однократного прохода МТА при различных сочетаниях влажности и исходной плотности

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы почвы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³						
			0.95	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
150	80	20	1.00	1.07	1.14	1.28	1.35	1.42	1.49
		24	1.02	1.09	1.16	1.29	1.36	1.43	1.50
		28	1.05	1.12	1.18	1.31	1.37	1.44	1.50
		30	1.07	1.14	1.20	1.32	1.38	1.45	1.51
	180	30	1.15	1.21	1.27	1.39	1.44	1.50	1.55
		20	1.03	1.10	1.17	1.30	1.37	1.44	1.50
		24	1.06	1.13	1.19	1.33	1.39	1.45	1.51
		28	1.13	1.19	1.25	1.38	1.44	1.49	1.54
		30	1.19	1.26	1.32	1.44	1.49	1.54	1.58

Таблица 112. Прогноз потери урожая озимых зерновых культур при уплотнении чернозема обыкновенного после однократного прохода МТА, %

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы почвы	Исходная плотность, г/см ³						
			0.95	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
150	80	20	0	0	0	0	5-10	25-50	50-75
		24	0	0	0	0	10-25	25-50	50-75
		28	0	0	0	0	10-25	25-50	50-75
		30	0	0	0	0	10-25	25-50	50-75
	180	20	0	0	0	0	10-25	25-50	50-75
		24	0	0	0	5-10	10-25	25-50	50-75
		28	0	0	0	10-25	25-50	50-75	>75
		30	0	0	0	25-50	50-75	>75	>75

Провинция Заволжская

Таблица 113. Прогноз уплотнения пахотного слоя (0-10 см) чернозема обыкновенного тяжелосуглинистого состава с содержанием гумуса 8.3% после однократного прохода МТА при различных сочетаниях влажности и исходной плотности

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы почвы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³					
			0.95	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40
110	80	20	1.02	1.10	1.17	1.24	1.39	1.46
		24	1.05	1.12	1.19	1.26	1.40	1.47
		28	1.08	1.15	1.21	1.28	1.41	1.48
		30	1.11	1.17	1.24	1.30	1.42	1.49
	180	20	1.06	1.13	1.20	1.27	1.41	1.48
		24	1.10	1.17	1.24	1.31	1.44	1.50
		28	1.20	1.27	1.33	1.40	1.52	1.57
		30	1.30	1.38	1.45	1.52	1.65	1.68

Таблица 114. Потеря урожая озимых зерновых культур при уплотнении чернозема обыкновенного после однократного прохода МТА, %

S, м ² /г	P, кПа	W, % от мас- сы почвы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³					
			0.95	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40
110	80	20	0	0	0	0	25-50	50-75
		24	0	0	0	0	25-50	50-75
		28	0	0	0	5-10	25-50	50-75
		30	0	0	0	5-10	25-50	>75
	180	20	0	0	0	5-10	25-50	50-75
		24	0	0	0	10-25	25-50	>75
		28	0	0	10-25	25-50	>75	>75
		30	10-25	25-50	50-75	>75	>75	>75

Провинция Предкавказская степная и лесостепная

Таблица 115. Нормативы физических свойств пахотного слоя чернозема обыкновенного высококарбонатного тяжелосуглинистого и легкоглинистого гранулометрического состава на тяжелых суглинках и глинах

Показатели физиче- ских свойств почв	Оптималь- ные	Допустимые	Критические
Равновесная плот- ность, г/см ³	1.10-1.25	1.25-1.35	>1.35
Общая пористость, %	50-60	45-50	<45
Пористость аэрации при НВ, %	15-25	10-15	<10
Содержание агрегатов 0.25-10 мм, %	65-75	50-65	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	<30	40-50	>50
Содержание водо- прочных агрегатов > 0.25 мм, %	40-60	30-40	<30
Пористость агрегатов 5-7 мм, %	40-42	36-40	<36
Водопроницаемость, мм/мин*	>1.0	0.5-0.7	<0.5
Наименьшая влагоем- кость, %	34-38	30-34	<30

По установившейся скорости фильтрации.

Таблица 116. Прогноз уплотнения пахотного слоя (0-10 см) чернозема обыкновенного тяжелосуглинистого карбонатного с содержанием гумуса 4.5% после однократного прохода МТА при различных сочетаниях влажности и исходной плотности

S, м ² /г	P, кПа	W, % от массы почвы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³						
			0,95	1,0	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
100	180	20	1,07	1,14	1,22	1,29	1,43	1,50	1,57
		24	1,12	1,19	1,26	1,33	1,46	1,53	1,59
		28	1,22	1,29	1,36	1,43	1,56	1,61	1,66
		30	1,34	1,42	1,42	1,58	1,70	1,70	1,70

Таблица 117. Прогноз потери урожая озимых зерновых культур при уплотнении чернозема обыкновенного после однократного прохода МТА, %

S, м ² /г	P, кПа	W, % от мас- сы почвы	Исходная плотность пахотного слоя почвы, г/см ³						
			0,95	1,0	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
100	180	20	0	0	0	0	25-50	50-75	>75
		24	0	0	0	10-25	50-75	>75	>75
		28	0	5-10	10-25	25-50	>75	>75	>75
		30	10-25	25-50	50-75	>75	>75	>75	>75

Черноземы южные

Таблица 118. Характеристика подтипа чернозем южный (Классификация..., 1977)

Показатель	Значение
Мощность гумусового горизонта (А), см	20–30; часто сверху обособляется слой 6–8 см более светлоокрашенный и слоеватый
Структура гор. А	Зернистая
Глубина вскипания	На нижней границе гор. А
Мощность переходного гумусового горизонта (АВ), см	30–40
Структура гор. АВ	Зернисто-комковатая или ореховато-комковатая, уплотненная
Общая мощность гор. А+АВ, см	От 25–30 до 60–70, иногда до 100
Структура переходного гор. Вк	Ореховато-призматическая, уплотненная
Структура иллювиально-карбонатного горизонта (Вск)	Призматическая, уплотненная с обильным выделением карбонатов (белоглазки)
Выделения гипса	С глубины 150–200 см в виде мучнисто-кристаллических жлоков, скоплений и друз
Легкорастворимые соли	Могут быть на глубине 200–300 см
Распределение ила по профилю	Однородное
Распределение валового химического состава по профилю	Однородное
Содержание гумуса, %	Может достигать 4–7 с преобладанием гуминовых кислот, связанных с Са
С гк / С фк	> 1.5
Емкость поглощения, мг-экв/кг	350–450
Реакция среды в верхней части гор. А (pH_{H_2O})	7.0–8.0
То же глубже	Подщелачивание
Особенности почвы при распашке	
Структура гор. А	Комковато-пылеватая
Глубина вскипания	Часто с поверхности

Таблица 119. Характеристика типа агрочерноземы текстурно-карбонатные (Классификация..., 2004), формирующегося из южных черноземов и темно-каштановых почв

Показатель	Значение
Горизонты	Агротемногумусовый (PU), нарушенная нижняя часть темногогумусового (AU), текстурно-карбонатный (CAT)
Структура агротемногумусового горизонта (PU)	Грубая, глыбисто-порошистая с сильной трещиноватостью в сухом состоянии
Количество вертикальных трещин в подгумусовой части профиля, заполненных гумусовым материалом	Примерно в 1.5 раза больше, чем в естественных почвах

Таблица 120. Характеристика типа агроземы текстурно-карбонатные (Классификация..., 2004), формирующегося из черноземов южных и каштановых почв

Показатель	Значение
Горизонты	Агрогумусовый (P) и текстурно-карбонатный (CAT)
Структура гор. P	Непрочная комковато- или пылевато-глыбистая, уплотненная
Структура гор. CAT	Призматично-ореховатая, плотная; магистральные трещины, заполненные гумусовым материалом
Выделения гипса и легкорастворимых солей	В нижней части профиля
Содержание гумуса в гор. P, %	Не более 3
С гк / С фк	≤ 1.0

Таблица 121. Характеристика типа агрообраземы текстурно-карбонатные (Классификация..., 2004), формирующегося при освоении сильно абрадированных черноземов текстурно-карбонатных (южных) и каштановых почв

Показатель	Значение
Горизонты	Агроабрадированный (РВ) – результат трансформации срединного горизонта естественных почв; текстурно-карбонатный (САТ) – диагностический; карбонат-содержащая почвообразующая порода (Cca)
Структура гор. САТ	Ореховато-призматическая, плотная; хорошо выражены щелитрещины, заполненные темным гумусовым материалом (до глубины 100–120 см или глубже)
Выделения гипса и легкорастворимых солей	В нижней части профиля

Таблица 122. Архетип пахотного чернозема южного на покровной глине (Козловский, 1998, 2003)

Показатель	Значение
Гор. Апах:	
содержание стабильного углерода, %	1.8
пористость, %	45
содержание лабильного углерода, %	≤ 0.1
Гор. А1 подпахотный:	
содержание стабильного углерода, %	1.6
пористость, %	40
pH _{H₂O}	8.5
содержание лабильного углерода, %	≤ 0.1
Гор. АВ:	
содержание стабильного углерода, %	1.2
пористость, %	38
pH _{H₂O}	9.5
содержание лабильного углерода, %	< 0.1
Гор. Вса:	9.5
pH _{H₂O}	

Органическое вещество почв

Провинция Южнорусская

Таблица 123. Нормативы содержания гумуса в черноземе южном, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные и супесчаные	1.6–2.5	3.0–3.8	до 4.5
Легко- и среднесуглинистые	2.0–3.0	3.5–4.5	до 5.0
Тяжелосуглинистые и глинистые	3.0–4.0	4.0–5.0	до 6.0

Азот почвы

Таблица 124. Нормативы содержания форм азота почвы в черноземах южных в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
–		Пшеница и ячмень Нитрификационная способность по Кравкову 15–30 Легкогидролиземый N по Тюрину–Кононовой 50–70	–
	8		
	40		–

Провинция Заволжская

Таблица 125. Прогноз результатов внесения азотных удобрений в чернозем южный

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное содержание азота, дополнительные воздействия	Суммарное поступление азота в почву
Тяжелосуглинистые	Зернопаропропашные севообороты	Пахотный слой: общий азот 0.23–0.25% легкогидролизующий азот по Тюрину–Кононовой 64–67 мг/кг	59 кг/га в год для поддержания нулевого баланса азота почвы
Тяжелосуглинистые	Зернопаровые севообороты	Слой 0–40 см: общий азот 0.23–0.24% легкогидролизующий азот 60–67 мг/кг	73 кг/га в год для того же

Подвижный фосфор почвы

Таблица 126. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в черноземы южные в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное содержание фосфора, дополнительные воздействия	Доза внесения действующего вещества удобрений
Карбонатные (в т.ч. солонцеватые)	Время не известно	—	120 кг/га сверх выноса урожая для повышения содержания P_2O_5 почвы по Мачигину на 10 мг/кг

Провинции Южнорусская и Заволжская

Таблица 127. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в чернозем южный

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное содержание фосфора, дополнительные воздействия	Доза внесения действующего вещества удобрений
Тяжелосуглинистые	Зернопаровые севообороты при дозах К(0–27) в год	По Мачигину в слое 0–40 см, мг/кг низкое (12) среднее (20) среднее (30)	Для поддержания нулевого хозяйственного баланса P_2O_5 15–18 кг/га в год 19–24 24–32
То же	То же	По Мачигину в слое 0–40 см, мг/кг среднее (30)	Хозяйственный баланс P_2O_5 при уменьшении содержания P_2O_5 почвы на 10 мг/кг/год (агроистощение) +22 кг/га/год

Физические свойства почвы

Провинция Южнорусская

Таблица 128. Нормативы физических свойств пахотного слоя чернозема южного тяжелосуглинистого и легкосуглинистого гранулометрического состава на желто-бурых глинах при антропогенном воздействии

Показатели физических свойств почв	Оптимальные	Допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см ³	1.10–1.25	1.25–1.35	>1.35
Общая пористость, %	50–60	45–50	<45
Пористость аэрации при НВ, %	15–25	10–15	<10
Содержание агрегатов 0.25–10 мм, %	65–75	50–65	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	<30	30–40	>40
Содержание водопропрочных агрегатов > 0.25 мм, %	40–60	30–40	<30
Пористость агрегатов 5–7 мм, %	40–42	36–40	<36
Водопроницаемость, мм/мин*	>1.0	0.5–0.7	<0.5
Наименьшая влагоемкость, %	34–38	30–34	<30

* По установившейся скорости фильтрации.

4.4. СУХОСТЕПНАЯ ЗОНА

Темно-каштановые почвы

Органическое вещество почв

Провинция Манычско-Донская

Таблица 129. Нормативы содержания гумуса в темно-каштановой почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	1.2–2.0	2.5–3.1	До 3.9
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	1.6–2.5	3.0–3.8	До 4.5

Засоленность и щелочность почвы

Таблица 130. Нормативы уровня засоленности и щелочности черноземов степной зоны и темно-каштановых почв в целом (орошаемое земледелие)

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
–	–	Соотношения активностей (а) ионов в почвенной пасте на нижней границе текучести: $aNa / (aCa)^{1/2} \leq 1$ $pH - pNa \ 3.5-4.0$ $pNa - 0.5 \cdot pCa \geq 1.35$ $(pH - pNa) / (pNa - 0.5 \cdot pCa) \leq 3$	3–7 5.0–5.5 – 6–11
–	0.5–0.9	–	–
–	–	–	–

Азот почвы

Таблица 131. Нормативы содержания форм азота в темно-каштановых почвах в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
—	8	Пшеница и ячмень Нитрификационная способность по Кравкову 15–30 Легкогидролизуемый N по Тюрину-Кононовой 50–70	—
	40		—

Провинция Заволжская

Таблица 132. Прогноз результатов внесения азотных удобрений в темно-каштановую почву

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное содержание азота, дополнительные воздействия	Суммарное поступление азота в почву
Тяжелосуглинистые	Впервые орошаемые и удобряемые почвы. Зернотравяные севообороты	Обеспеченность подвижным азотом средняя	115–170 кг/га в год для поддержания нулевого баланса азота почвы
—	Окультуренные почвы. Зернопропашные севообороты	—	170–180 кг/га в год для того же

Подвижный фосфор почвы

Таблица 133. Нормативы изменения содержания подвижных фосфатов в темно-каштановых, собственно каштановых и светло-каштановых почвах сухостепной и полупустынной зон в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Средне- и тяжелосуглинистые	10–17	Метод Мачигина 25–45 на богаре; 50–65 при орошении	45–60
	—		—

Каштановые (собственно) почвы

Таблица 134. Архетип пахотной каштановой почвы на тяжелом лёссовидном суглинке (Козловский, 1998, 2003)

Показатель	Значение
Гор. Апах:	
содержание стабильного углерода, %	0.9
пористость, %	42
pH _{N₂O}	8.8
содержание лабильного углерода, %	≤ 0.1
Гор. АВ подпахотный:	
содержание стабильного углерода, %	0.7
пористость, %	40
pH _{N₂O}	9.0
содержание лабильного углерода, %	< 0.1
Гор. АВ:	
pH _{N₂O}	9.5
Гор. ВС _{сол}	
pH _{N₂O}	8.2

Органическое вещество почв

Провинция Манычско-Донская

Таблица 135. Нормативы содержания гумуса в темно-каштановой почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	0.4–1.0	1.5–2.0	До 2.5
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	0.8–1.5	2.0–2.6	До 3.3

Подвижный фосфор почвы

Таблица 136. Нормативы содержания подвижных фосфатов в темно-каштановых, собственно каштановых и светло-каштановых почвах Сухо-степной и Полупустынной зон в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Средне- и тяжелосуглинистые	10–17 —	Метод Мачигина 25–45 на богаре; 50–65 при орошении	45–60 —

Таблица 137. Прогноз результатов внесения фосфорных удобрений в каштановые почвы в целом

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальное содержание фосфора, дополнительные воздействия	Доза внесения д.в. удобрений
—	—	По Мачигину, мг/кг	Доза для поддержания нулевого хозяйственного баланса P_2O_5
		Среднее (20)	82 кг/га в год (полевые севообороты)
		Повышенное (38–42)	310 кг/га в год (зернопропашные севообороты)
			Доза для повышения содержания P_2O_5 в почве на 10 мг/кг (полевые севообороты)
		Очень низкое (3–10)	90–95 кг/га в год
		Среднее (30)	130
		Повышенное (40)	155
		Высокое (50)	180
			Доза для снижения содержания P_2O_5 в почве на 10 мг/кг (агроинтошение)
		Повышенное (40)	55 кг/га в год
		Высокое (50–60)	110–150
		Очень высокое (70)	185

Подвижный (обменный) калий почвы

Таблица 138. Нормативы содержания подвижного (обменного) калия в каштановых почвах в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
—	50–100	Метод Мачигина 300–400 для полевых севооборотов	—

Таблица 139. Прогноз изменения содержания подвижного (обменного) калия в каштановых почвах в целом при внесении калийных удобрений, мг/кг

Гранулометрический состав	Дополнительная информация	Начальные значения K_2O почвы	Доза внесения K_2O удобрений
Тяжелосуглинистые	Зернопропашные и плодосменные севообороты при орошении	Метод Мачигина, пахотный слой, мг/кг Повышенное и высокое (390–440)	Доза для поддержания нулевого хозяйственного баланса K_2O 150–170 кг/га в год

Физические свойства почвы

Провинция Заволжская

Таблица 140. Нормативы физических свойств пахотного слоя темно-каштановых почв тяжелосуглинистого и суглинистого гранулометрического состава на лёссовидных суглинках

Показатели физических свойств почв	Оптимальные	Допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см ³	1.20–1.30	1.30 – 1.40	>1.40
Общая пористость, %	50–55	40–50	<45
Пористость аэрации при НВ, %	15–25	10–15	<10
Содержание агрегатов 0.25–10 мм, %	60–70	50–60	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	<30	30–50	>50
Содержание водопрочных агрегатов > 0.25 мм, %	>40	20–40	<20
Пористость агрегатов 5–7 мм, %	40–42	36–40	<36
Водопроницаемость, мм/мин*	>0.5	0.3–0.5	<0.3
Наименьшая влагоемкость, %	30–34	26–30	<26

* По установившейся скорости фильтрации.

4.5. ПОЛУПУСТЫННАЯ ЗОНА

Светло-каштановые почвы

Таблица 141. Архетип пахотной светло-каштановой солонцеватой почвы на тяжелом суглинке (Козловский, 1998, 2003)

Показатель	Значение
Гор. Апах:	
содержание стабильного углерода, %	0.7
пористость, %	42
pH _{H₂O}	8.2
содержание лабильного углерода, %	< 0.1
Гор. АВ подпахотный:	
пористость, %	42
pH _{H₂O}	8.8
Гор. Вса:	
pH _{H₂O}	9.0

Органическое вещество почв

Провинция Прикаспийская (Кумо-Волжский округ)

Таблица 142. Нормативы содержания гумуса в светло-каштановой почве, %

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые	0.3–0.8	1.0–1.5	До 2.3
Средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	0.4–1.0	1.5–2.0	До 2.5

Подвижный фосфор почвы

Таблица 143. Нормативы содержания подвижных фосфатов в темно-каштановых, собственно каштановых и светло-каштановых почвах сухостепной и полупустынной зон в целом, мг/кг

Гранулометрический состав	Минимальное допустимое	Оптимальное	Максимальное допустимое
Средне- и тяжелосуглинистые	10–17	Метод Мачигина 25–45 на богаре; 50–65 при орошении	45–60
	–		–

Физические свойства почвы

Провинция Прикаспийская

Таблица 144. Нормативы физических свойств пахотного слоя каштановых и светло-каштановых почв тяжелосуглинистого и суглинистого гранулометрического состава на лёссовидных суглинках

Показатели физических свойств почв	Оптимальные	Допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см ³	1.20–1.35	1.35–1.45	>1.45
Общая пористость, %	50–55	45–50	<45
Пористость аэрации при НВ, %	15–25	10–15	<10
Содержание агрегатов 0.25–10 мм, %	60–70	50–60	<50
Содержание агрегатов > 10 мм, %	<30	30–50	>50
Содержание водопрочных агрегатов > 0.25 мм, %	>40	20–40	<20
Пористость агрегатов 5–7 мм, %	40–42	36–40	<36
Водопроницаемость, мм/мин*	>0.5	0.3–0.5	<0.3
Наименьшая влагоемкость, %	30–34	26–30	<26

* По установившейся скорости фильтрации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные нормативы представляют собой обобщение многолетних (фундаментальных и практических) исследований по вопросам количественного учета всего комплекса свойств почв, включая показатели плодородия. Следует отметить новизну разработанных в связи с этим методических подходов и полученных результатов, опирающихся на разнообразные предшествующие исследования: оптимальные параметры свойств почв, модели плодородия, разработки по деградации почв (в том числе, деградации по плодородию), приемы повышения устойчивости пахотных почв к агроистощению, нормативы внесения удобрений и мелиорантов для повышения плодородия почв, нормативы механических воздействий на почву, исследования по эффективности удобрений, по круговороту и балансу веществ в земледелии и т.д.

Все это позволило перейти к разработке и уточнению понятий и самих значений допустимых и критических ограничений комплекса почвенных свойств в системе почва-растение-удобрение(мелиорант)-механические обработки. Благодаря более строгому математико-статистическому подходу к анализу временных изменений свойств почв от антропогенных воздействий предложены и более обоснованные модели прогноза этих изменений.

Впервые в подобных работах привлекаются данные о таксономических (классификационных) границах свойств именно пахотных почв. Согласование этих границ с допустимыми и критическими значениями, полученными на другой методической основе, представляет собой иногда сложную задачу, тем более, что провинциальные различия таксономических границ для пахотных почв обычно не разработаны. При этом такие агрохимические показатели почвы, как азот, фосфор и калий, регулируемые внесением удобрений, в описании таксономических границ не учитываются. В то же время, реакция почвенной среды, засоленность и щелочность, содержание гумуса учитываются, хотя они тоже могут регулироваться в пахотных почвах.

Разработанные нормативы ценны как в научном отношении (для мониторинга структурно-функциональных свойств и экологического состояния почв), так и для практики сельского хозяйства (будут способствовать повышению эффективности агротехнологий).

Предложенные методические подходы могут найти применение для разработки недостающих нормативов для других регионов и почв и дальнейшего уточнения уже разработанных нормативов по мере накопления и анализа дополнительной экспериментальной информации.

Интересным и перспективным элементом комплексного подхода является разработка нормативов допустимых запасов некоторых элементов питания в пахотном слое почвы; тем самым связываются агрохимические и физические свойства почв. В данной работе запасы оценивали для оптимальных плотностей соответствующих почв.

Общее представление об объеме полученных в данной работе результатов можно получить из приведенной таблицы. В ней в обобщенном виде показано, для каких регионов и почв удалось к настоящему времени предложить нормативы значений почвенных показателей и прогнозов их изменения при антропогенных воздействиях.

Для таких свойств почв, как реакция почвенной среды (показатели кислотности), засоленность и щелочность, нормативы разрабатывались в соответствии с зональными особенностями почв – по кислотности в южно-таежно-лесной зоне, по засоленности и щелочности в степной зоне и южнее. Нормативы содержания для органического вещества почв (гумуса) представлены достаточно полно, но надежных моделей прогнозов для этого показателя пока нет. Нормативы для азота почвы получены лишь для степной и сухостепной зон, а для подвижных фосфора и калия – значительно шире. Нормативы для физических свойств почв также довольно представительны, но охватывают, в основном, почвы тяжелого гранулометрического состава.

Полученные материалы позволяют в целом говорить о том, что нормативы значений почвенных показателей для конкретной почвы заметно зависят от гранулометрического состава почв. Что касается географических закономерностей, то более определенно они проявляются для нормативов содержания гумуса в почвах южно-таежно-лесной и лесостепной зон (рост значений при движении от центральных регионов ЕТР на восток к Предуралью) и физических свойств черноземов лесостепной и степной зон (в аналогичном направлении). Для других показателей свойств почв о соответствующих тенденциях говорить преждевременно из-за недостатка информации.

Таблица 145. Обеспеченность основных пахотных почв ЕТР нормативами значений и прогнозами свойств почв при антропогенных воздействиях

Почва, провинция	Таксономические границы	Органическое вещество	Кислотность	Засоленность и щелочность	Азот	Фосфор	Калий	Физические свойства
Южно-таежно-лесная зона								
Дерново-подзолистые в целом	+		+/+			+/+	+/+	
Прибалтийская (восточная)		+/-	+/-			-/+	+/-	
Среднерусская		+/-	+/+			+/+	+/+	+/+
Лесостепная зона								
Светло-серые лесные в целом	+							
Среднерусская		+/-						
Предуральская (Собственно)		+/-						
серые лесные в целом	+					+/+		
Среднерусская		+/-				+/+	+/+	
Предуральская		+/-						
Темно-серые лесные в целом	+					+/+	+/+	

Продолжение таблицы 145

Почва, провинция	Таксономические границы	Органическое вещество	Кислотность	Засоленность и щелочность	Азот	Фосфор	Калий	Физические свойства
Среднерусская		+/-				+/+	+/+	
Предуральская		+/-						
Черноземы зоны в целом			+/+			+/+	+/+	
Среднерусская						+/+		
Предуральская						+/+		
Предкавказская	+					+/+		
Черноземы оподзоленные в целом						-/+		
Среднерусская и Предкавказская		+/-						-/+
Предуральская		+/-						
Черноземы выщелоченные в целом	+					+/+	-/+	
Среднерусская								
и Предкавказская		+/-				-/+		+/+
Предуральская		+/-						+/+

Продолжение таблицы 145

Почва, провинция	Таксономические границы	Органическое вещество	Кислотность	Засоленность и щелочность	Азот	Фосфор	Калий	Физические свойства
Черноземы типичные в целом Среднерусская и Предкавказская Предуральская	+	+/- +/-	Степная зона			+/+ -/+	-/+	+/+ +/-
Черноземы зоны в целом Украинская (восточная) Черноземы обыкновенные в целом	+			+/- +/-	+/-	+/+	+/-	
Южнорусская и Заволжская Предкавказская	+	+/-			+/- -/+	-/+		+/+ +/-
Черноземы южные в целом Южнорусская Заволжская	+	+/-			+/- -/+	-/+ -/+		+/-

Окончание таблицы 145

Почва, провинция	Таксономические границы	Органическое вещество	Кислотность	Засоленность и щелочность	Азот	Фосфор	Калий	Физические свойства
Сухостепная зона								
Темно-каштановые в целом Маньчско-Донская Заволжская (Собственно) каштановые в целом Маньчско-Донская Заволжская	+	+/-		+/-	+/- -/+	+/-	+/+ +/-	+/-
Полупустынная зона								
Светло-каштановые в целом Прикаспийская	+	+/-				+/-		+/-
ИТОГО		19/0	4/3	3/0	4/3	13/14	9/7	10/6

Обозначения: плюс означает, что нормативы значений или прогнозы имеются, минус – что их пока нет; слева от косой черты – нормативы значений, справа – прогнозы.

Более глубокий анализ представленной здесь системы нормативов изменений свойств почв может быть предметом дальнейшей работы. Авторы также надеются, что данное исследование послужит толчком к широкому привлечению других ученых для работы в этом направлении, переводу качественных и полуколичественных представлений на количественную основу, а также дифференциации имеющихся слишком обобщенных нормативов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агабабян В.Г. Оценка засоленных солонцеватых почв с использованием ионоселективных электродов // Новые методы исследования почв солонцовых комплексов: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1982. С.40–43.

Агеец В.Ю., Василюк Г.В., Клебанович Н.В. // Почвенные исследования и применение удобрений. Вып. 21. Мн.: Ураджай, 1991. С. 17–21.

Агрофизическая характеристика почв Нечерноземной зоны Европейской части СССР: Науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1976. 368 с.

Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон Европейской части СССР: Науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1977. 255 с.

Агрохимическая характеристика почв СССР (районы Северного Кавказа). М.: Наука, 1964. 365 с.

Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.

Адерихин П.Г. Изменение структуры почв Воронежской области при использовании в сельском хозяйстве // Охрана природы Центрально-Черноземной полосы. Сб. № 3. Воронеж. кн. изд-во, 1960. С. 9–30.

Азизов З.М. Влияние приемов основной обработки на агрофизические свойства южных черноземов Поволжья // Почвоведение. 2006. № 12. С. 1484–1491.

Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв: Метод. рекомендации / Под ред. В.А. Большакова. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1993. 74 с.

Аннотированный перечень моделей плодородия в автоматизированном банке «ПЛОМОД». М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1991–2005. Вып.1–5.

Ахтырцев Б.П., Лепилин М.А. Водно-физические свойства типичных черноземов Среднерусской возвышенности в условиях интенсивного использования // Почвоведение. 2001. № 4. С. 444–454.

Базовые шкалы свойств морфологических элементов почв: Метод. руководство по описанию почв в поле. М., 1982. 60 с.

Большаков В.А., Гальпер Н.Я., Клименко Г.А., Лычкина Т.И., Баишта Е.В. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. Обзорная информация. М.: ВИНТИ, 1978. 98 с.

Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л. Словник. Термины, их краткое определение, справочные материалы по общей и почвен-

ной экологии, географии и классификации почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. 140 с.

Бондарев А.Г. Агрофизическая характеристика почв солонцового комплекса Волгоградского Заволжья // Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон европейской части СССР. М., 1977. С. 164–194.

Бондарев А.Г. Водно-физические свойства почв сухостепной зоны и приемы их улучшения при орошении // Физические условия почвенного плодородия: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1978. С. 70–79.

Бондарев А.Г. Проблема уплотнения почв сельскохозяйственной техникой и пути ее решения // Почвоведение. 1990. № 5. С. 31–37.

Бондарев А.Г., Кузнецова И.В. Особенности структуры и сложения почв в почвенном комплексе Заволжья при орошении // Почвоведение. 1973. № 9. С. 96–104.

Бондарев А.Г., Модина С.А., Рыбина В.В. Физические и физико-механические свойства почв и их изменение при интенсификации земледелия // Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1979. С. 111–123.

Бондарев А.Г., Русанов В.А., Сапожников П.М., Седов М.В., Уткаева В.Ф., Щепотьев В.Н. Определение нормативов допустимых давлений на почву // Переуплотнение пахотных почв. Причины, следствия, пути уменьшения. М.: Наука, 1987. С. 166–173.

Бондарев А.Г., Кузнецова И.В., Сапожников П.М. Переуплотнение почв сельскохозяйственной техникой, прогноз явления и процессы разуплотнения // Почвоведение. 1994. № 4. С. 58–64.

Бондарев А.Г., Кузнецова И.В. Проблемы деградации физических свойств почв России и пути ее решения // Почвоведение. 1999. № 9. С. 1126–1131.

Бондарев А.Г., Кузнецова И.В. Почвенно-физические основы применения энергосберегающих минимальных обработок почв // «Теоретические и научно-практические достижения науки и техники»: Журн. АПК. Май 2004. С. 11.

Бондарев А.Г., Кузнецова И.В., Тихонравова П.И., Уткаева В.Ф. Агрофизические свойства и режимы почв в решении современных проблем почвоведения и земледелия // Проблемы почвоведения. К 75-летию со дня рождения Л.Л. Шишова. М., 2006. С. 56–81.

Буров Д.Е., Дудинцев Е.В., Казаков Г.И. Изменение агрофизических свойств обыкновенного чернозема при обработке // Почвоведение. 1973. № 2. С. 46–56.

Вадюнина А.Ф. Агрофизическая и мелиоративная характеристика каштановых почв юго-востока европейской части СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 325 с.

Валков В.Ф., Клименко Г.Г., Крыщенко В.С. Сравнительная характеристика обыкновенного и южного черноземов Нижнего Дона // Почвоведение. 1980. № 10. С. 5–13.

Васильев Г.И., Калинин А.С., Спирин А.П., Небогин И.С. Изменение ветроустойчивости почвы под воздействием ходовых систем тракторов // Защита почв от ветровой эрозии: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1979. С. 51–64.

Водопьянов В.В., Киреева Н.А., Тарасенко Е.М. Фитотоксичность нефтезагрязненных почв (математическое моделирование) // Агрохимия. 2004. № 10. С. 73–77.

Временные рекомендации по ограничению уровня воздействия движителей сельскохозяйственной техники на почву. М.: Агропромиздат, 1985. 16 с.

ГОСТ 17.4.2.01-81 Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния (с изменениями 1985 г.).

ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

ГОСТ 17.5.1.03-83 Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения.

ГОСТ 17.4.1.03-84 Охрана природы. Почвы. Термины и определения химического загрязнения.

ГОСТ 16265-89. Земледелие. Термины и определения.

ГОСТ 20286-74 Радиоактивное загрязнение. Термины и определения.

ГОСТ 21123-85 Торф. Термины и определения.

ГОСТ 26204-84 – 26213-84. Почвы. Методы анализа.

ГОСТ 26640-85 Земли. Термины и определения.

ГОСТ 603-21-85 Почвы. Показатели химического состояния. Термины и определения.

ГОСТ 27593-88 Почвы. Термины и определения.

Граковский В.Г., Фрид А.С., Сорокин С.Е., Тимохин П.А. Оценка загрязнения почв Челябинской области тяжелыми металлами и мышьяком // Почвоведение. 1997. № 1. С. 88–95.

Григорьев Г.И. Диагностические показатели дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности // Почвоведение. 1960. № 6.

Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 256 с.

Державин Л.М., Фрид А.С. О комплексной оценке плодородия пахотных земель // Агрохимия. 2001. № 9. С. 5–12.

Державин Л.М., Фрид А.С. Модели комплексной оценки плодородия пахотных земель // *Агрохимия*. 2002. № 8. С. 5–13.

Димо В.Н. Агрофизическая характеристика дерново-подзолистых почв разного механического состава // *Плодородие дерново-подзолистых почв*. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 5–12.

Димо В.Н., Тихонравова П.И. Оптимальные параметры теплообеспеченности почв СССР // *Почвоведение*. 1991. № 3. С. 56–65.

Долгов С.И., Кузнецова И.В., Модина С.А. О критериях оптимального сложения пахотного слоя почвы // *Проблемы обработки почвы*. Докл. Междунар. совещания 13–15 июня 1968, Варна. София, 1970. С. 131–142.

Допустимые выбросы радиоактивных и вредных химических веществ в приземный слой атмосферы / Под ред. Е.Н. Тевяровского, И.А. Терновского. М.: Атомиздат, 1980. 238 с.

Захарова Н.Н. Закономерности изменения противодефляционной устойчивости обыкновенных черноземов Предкавказья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1982. 20 с.

Ильин В.Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 1995. № 1. С. 94–99.

Канунникова Н.А. Термодинамические потенциалы почвенных реакций и буферные свойства почв // *Итоги науки и техники*. ВИНТИ. Почвоведение и агрохимия. Т. 6. 1986. С. 87–184.

Качинский Н.А. Оценка основных физических свойств почв в агрономических целях и природного плодородия их по механическому составу // *Почвоведение*. 1958. № 5. С. 80–83

Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. 1. М., 1965. 323 с.

Качинский Н.А., Вадюнина А.Ф., Корчагина З.Н. Опыт агрофизической характеристики почв на примере Центрального Урала. М. –Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 240 с.

Кёршенс М. Значения содержания гумуса для плодородия почв и круговорота. Посвящается 100-летию со дня рождения профессора, академика И.В. Тюрина // *Почвоведение*. 1992. № 10. С. 122–131.

Кёршенс М., Шульц Э. Органическое вещество почвы: динамика – воспроизводство – экономически и экологически обоснованные показатели // *Методы исследований органического вещества почв*. Владимир: Изд-во РАСХН, 2005. С. 43–85.

Кирпичников Н.А., Адрианов С.Н., Волосатова Е.А. Последствие фосфорных удобрений // *Плодородие*. 2004. № 1(16). С. 11–13.

Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 233 с.

Классификация и диагностика почв России. Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Клименко Г.Г., Крыщенко В.С. К характеристике химического состава южных черноземов правобережья Нижнего Дона // *Почвоведение*. 1978. № 3. С. 18–25.

Козут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1996. 48 с.

Козут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании // *Почвоведение*. 1998. № 7. С. 794–802.

Козут Б.М., Шишов Л.Л. Агроэкологический принцип определения потребности сельскохозяйственных культур в органических удобрениях на основе оценки уровня содержания гумуса в черноземах // Докл. РАСХН. 2005. № 2. С. 29–30.

Козловский Ф.И. Генезис и география пахотных почв на русской равнине // Изв. АН СССР. Серия географическая. 1998. № 5. (Козловский Ф.И. Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2003. С. 388–406.)

Кораблёва Л.И. Тез. докл. конф. «Регулирование плодородия почв, круговорота и баланса питательных веществ в земледелии СССР». Пушкино, 1981.

Королёв В.А. Изменение физических свойств черноземов обыкновенных при длительном сельскохозяйственном использовании // *Почвоведение*. 2002. № 6. С. 697–704.

Королёв В.А. Физические свойства антропогенного преобразования черноземов Центра Русской равнины // Мат. междунар. науч. конф. «Черноземы центра России: генезис, география, эволюция», посвященной 100-летию со дня рождения П.Г. Адерихина. Воронеж, 2004. С. 59–78.

Королёва И.Е. Критерии выбора показателей устойчивости почв к агроистощению по фосфору и калию // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: Тез. докл. Всерос. конф., посвящ. 75-летию Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. М., 2002. С. 38.

Королёва И.Е. Оценка степени устойчивости почв к агроистощению по показателям их фосфатного и калийного состояния // Мат. V съезда Всерос. общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Ростов н/Д, 2008. С. 178.

Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Изд-во Минэкологии, 1992. 58 с.

Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. Матер. Всесоюз. совещания. Пушкино, 1979.

Кузнецова И.В. Физические условия плодородия мощных черноземов // Почвоведение. 1967. № 7. С. 102–110.

Кузнецова И.В. Физические свойства пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв // Почвоведение. 1978. № 2. С. 44–54.

Кузнецова И.В. Уплотняющее действие трактора «Белорусь» на черноземах Курской области // Почвоведение. 1978. № 10. С. 53–57.

Кузнецова И.В. Физические свойства южных черноземов Ростовской области и некоторые вопросы их обработки // Физические условия почвенного плодородия: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1978. С. 110–124.

Кузнецова И.В. О некоторых критериях оценки физических свойств почв // Почвоведение. 1979. № 3. 81–87.

Кузнецова И.В. Агрофизические свойства дерново-подзолистых окультуренных почв // Почвоведение. 1979. № 9. С. 48–57.

Кузнецова И.В. Изменение дифференциальной пористости и водно-физических свойств почвы при уплотнении и разуплотнении // Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1984. С. 18–25.

Кузнецова И.В. Показатели структурного состояния черноземов ЦЧО и их изменение при сельскохозяйственном использовании // Изменение агрофизических свойств почв под воздействием антропогенных факторов: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1990. С. 45–56.

Кузнецова И.В. Об оптимальной плотности почв // Почвоведение. 1990. № 5. С. 43–54.

Кузнецова И.В. Роль органического вещества в образовании водопропрочной структуры дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1994. № 11. С. 34–41.

Кузнецова И.В. Содержание и состав органического вещества черноземов и его роль в образовании водопропрочной структуры // Почвоведение. 1998. № 1. С. 41–51.

Кузнецова И.В. Влияние органического вещества на структуру, сложение и устойчивость почв к деградации физических свойств // Современные проблемы почвоведения. М., 2000. С. 423–432.

Кузнецова И.В. Современные тенденции эволюции физических свойств черноземов Среднерусской провинции лесостепной зоны // Мат. Междунар. конф.: «Черноземы центра России: генезис, география, эволюция». Воронеж, 2004. С. 288–292.

Кузнецова И.В., Долгов С.И. Физические свойства почв, определяющие эффективность минимальных обработок // Земледелие. 1975. № 6. С. 26–28.

Кузнецова И.В., Виноградова Г.Б. О критической для произрастания сельскохозяйственных культур плотности пахотного слоя дерно-

во-подзолистых почв // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева М., 1981. С. 26–31.

Кузнецова И.В., Данилова В.И. О разуплотнении почв под влиянием процессов набухания-усадки // Почвоведение. 1988. № 6. С. 59–70.

Кузнецова И.В., Старцев А.Д., Данилова В.И. Региональные и подтиповые особенности физических свойств черноземов ЦЧО и их изменение при сельскохозяйственном использовании // Тез. докл. VII Всесоюз. съезда почвоведов. Кн.1. Новосибирск, 1989. С. 45.

Кузнецова И.В., Старцев А.Д. Показатели структурного состояния черноземов ЦЧО и их изменение при сельскохозяйственном использовании // Изменение агрофизических свойств почв под воздействием антропогенных факторов: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева М. 1990. С. 36–46.

Кузнецова И.В., Старцев А.Д., Данилова В.И. Изменение плотности черноземов при сельскохозяйственном использовании // Изменение агрофизических свойств почв под воздействием антропогенных факторов: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1990. С. 46–55.

Кузнецова И.В., Савин И.Н., Силаков С.Н., Коновалов С.Н. Сравнительная оценка и пути оптимизации агрофизических свойств черноземов в различных структурах почвенного покрова // Почвоведение. 1993. № 4. С. 40–51.

Кузнецова И.В., Бондарев А.Г., Данилова В.И. Устойчивость структурного состояния и сложения почв при уплотнении // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1106–1113.

Кузнецова И.В., Уткаева В.Ф., Бондарев А.Г. Оценка изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв Нечерноземной зоны России в зависимости от характера антропогенного воздействия // Почвоведение. 2009. № 2. С. 152–162.

Левин Ф.И. Окультуривание дерново-подзолистых почв. М.: Колос, 1972. 264 с.

Литвак Ш.И. Системный подход к агрохимическим исследованиям. М., 1990. 220 с.

Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь. М.: Наука, 1987. 510 с.

Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. М.: Агропромиздат, 1988. 105 с.

Матвеев Ю.М., Прохоров А.Н. Проблемы экологического нормирования содержания химических соединений в почвах различных типов // Тез. докл. Междунар. конф. «Проблемы антропогенного почвообразования». М., 1997. Т. 3. С. 156–158.

Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. М.: Агропромиздат, 1988. 160 с.

Медведев В.В. Изменчивость оптимальной плотности сложения почв и ее причины // Почвоведение. 1990. № 5. С. 20–30.

Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н. Плотность сложения почв. Генетические, экологические и агрономические аспекты. Харьков, 2004. 244 с.

Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель. М.: Изд-во Минприроды, Роскомзем, 1993.

Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленными выбросами / Сост. И.Г. Важенин М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1987. 27 с.

Методические указания по агрохимическому обследованию и картографированию почв на содержание микроэлементов / Сост. Важенин И.Г. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1976. 78 с.

Методические указания по комплексному агрохимическому окультуриванию полей. М.: Агропромиздат, 1985. 32 с.

Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Минздрав СССР, 1987. 25 с.

Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.

Методическое руководство по описанию почв в системе информационной базы классификации / Сост.: Шишов Л.Л., Рожков В.А., Столбовой В.С., Шерemet Б.В., Малахова И.А., Зенин А.Г., Вишняков В.А., Мешалкина Ю.Л. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1986. 126 с.

Методическое руководство по описанию моделей плодородия для автоматизированного банка «ПЛОМОД». М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1989. 105 с.

Метрoлогическое обеспечение аналитических работ в почвоведении: Метод. рекомендации. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1988. 112 с.

Музыкакин Е.Т., Кузнецова И.В., Потапова А.И., Кахута Н.М. О применении гербицидов и минимальной обработке пропашных культур на типичных черноземах // Почвоведение. 1968. № 11. С. 86–97.

Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛенНИИСКХ, 2005. 252 с.

Никитин Б.А. Свойства, оценка уровня плодородия и классификация подзолистых окультуренных почв Горьковской области. Горки: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1973. 44 с.

Нормы радиационной безопасности. НРБ-76/87 и более новые.

Нормы расхода известковых материалов для сдвига реакции почвенной среды до оптимального уровня pH на различных типах почв // Нормы и нормативы для планирования в сельском хозяйстве. Растениеводство / Под ред. А.И. Иевлева М.: Агропромиздат, 1988. С. 177–189.

Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии. М.: ВО «Агропромиздат», 1990. 304 с.

Обухов А.И. Методические основы разработки ПДК тяжелых металлов и классификация почв по загрязнению // Система методов изучения почвенного покрова, деградированного под влиянием химического загрязнения. М., 1992.

Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК 6229-91. М.: Госкомсанэпиднадзор РФ, 1995. 8 с.

ОСТ 23 002-97 Состояние земель. Нарушенные, деградированные и загрязненные земли. Классификация Роскомзема России.

Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия (рекомендации) / Сост. К.В. Дьяконова. М.: Агропромиздат, 1990. 28 с.

Переуплотнение пахотных почв. Причины, следствия, пути уменьшения. М.: Наука, 1987. 215 с.

Перечень показателей свойств почв для оценки почвенного плодородия и методы их определения / Сост. Д.М. Алексеева. М.: ВАСХНИЛ–Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1981. 86 с.

Пестряков В.К. Окультурирование дерново-подзолистых почв (в северо-западной зоне). Л.: Колос, 1970. 120 с.

Полевой определитель почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. М.: Изд-во Минприроды РФ, Роскомзем, 1993. 31 с.

Почвенно-географическое районирование СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 186–196.

Почвоведение на рубеже веков (От редколлегии) // Почвоведение. 2000. № 1. С. 5.

Почвы Московской области и их использование. Т. 1. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2002. 500 с.

Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. М.: Колос, 1975. 256 с.

Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / Под ред. А.Н. Каштанова. М.: Колос, 1983. 336 с.

Проблема воздействия движителей на почву и эффективные направления ее решения: Тез. докл. Междунар. научно-технической конференции 23–25 сентября 1998 г. Всерос. научно-исслед. ин-т механизации сельского хозяйства (ВИМ). М., 1998. 111 с.

Прохорова З.А., Фрид А.С., Шуватова И.Д. Методические указания по разработке эмпирической динамической модели содержания подвижных фосфатов в почве. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1989. 12 с.

Прохорова З.А., Фрид А.С. Изучение и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта. М.: Наука, 1993. 190 с.

Пупонин А.И., Матюк Н.С. Дерново-подзолистые почвы Подмосковья. Переуплотнение пахотных почв: причины, следствия, пути уменьшения. М.: Наука, 1987. С. 27–35

Рабочев И.С., Королёва И.Е. Показатели плодородия почв и пути их регулирования // Плодородие почв: проблемы, исследования, модели: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1985. С. 29–37.

Ревут И.Б., Соколовская Н.А., Васильев А.М. Структура и плотность – основные параметры, кондиционирующие основные условия жизни растений // Пути регулирования почвенных условий жизни растений. Л.: Гидрометеиздат, 1974. Ч. 2.

Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв / Под ред. Л.Л. Шишова М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1984. 96 с.

Роде А.А. Почвообразовательные процессы и их изучение стационарным методом // Принципы организации и методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1976. С. 5–33.

Савин И.Ю., Кузнецова И.В. О сходстве фоновых компонентов почвенного покрова южной лесостепи Среднерусской возвышенности по физическим свойствам // Почвоведение. 2000. № 3. С. 309–314.

Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. САНПиН 42-128-4433-87. М.: Минздрав СССР, 1988. 54 с.

Сапожников П.М. Физические параметры плодородия при антропогенных воздействиях: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1994. 48 с.

Сапожников П.М., Уткаева В.Ф., Скворцова Е.Н. Изменение физических свойств и структуры дерново-подзолистых почв при уплотнении // Вест. с.-х. науки. 1985. № 5. С. 144–146.

Сапожников П.М., Шевченко А.В. Экспресс-метод определения общей удельной поверхности // Почвоведение. 1989. № 11. С. 146–150.

Сапожников П.М., Прохоров А.Н. Модель уплотнения пахотных почв движителями сельскохозяйственной техники // Почвоведение. 1990. № 5. С. 95–105.

Сапожников П.М., Уткаева В.Ф., Щепотьев В.Н. Характеристика процессов уплотнения – разуплотнения типичных черноземов // Изменение агрофизических свойств почв под воздействием антропогенных факторов: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1990. С. 11–19.

Сапожников П.М., Болокан Н.И., Щепотьев В.Н. Уплотняющее действие сельскохозяйственной техники на черноземы // Вест. с.-х. науки. 1991. № 4. С. 102–108.

Свидетельства на стандартные образцы (например, для почв: СП-1 (Курский чернозем), СП-2 (Московская дерново-подзолистая почва), СП-3 (Прикаспийская светло-каштановая почва). М., 1991).

Сдобникова О.В., Мутерко Н.И., Попова М.В. Оптимальные уровни обеспеченности почв фосфором, азотом и калием // Тез. докл. 6 делегат. съезда ВОП. Тбилиси, 1981. Кн. 3. С. 145.

Словарь агрохимических терминов (для участников Географической сети опытов с удобрениями) / Сост. А.С. Цыгуткин. М.: ВНИИА, 2005. 43 с.

Снакин В.В. Система оценки деградации почв. Пушкино: Пушкинский научный центр РАН, ВНИИприрода, 1992. 21с.

Соколов М.С. Методы контроля за накоплением и превращением в почве химических соединений // Проблемы земледелия. М.: Колос, 1978. С.186–195.

Спирidonov Ю.Я., Алтухова Т.В., Шестаков В.Г., Костюк А.В. Применение препаратов на основе ацетохлора для борьбы с сорняками в посевах кукурузы // Агрохимия. 2004. № 2. С. 67–73.

Сушеница Б.А., Капранов В.Н., Алиев Ш.А., Дышко В.Н. Технология производства и применения местных фосфоритов в земледелии // Плодородие. 2005. № 1(22). С. 20–21.

Терминологический словарь по отходам / Под ред. В.А. Улицкого М.: НИИ-Природа, 2003. 48 с.

Термины и словосочетания, связанные с экологической безопасностью и охраной окружающей среды, используемые в законодательных документах Российской Федерации» / Науч. руковод. В.С. Преображенский. М.: Ин-т географии РАН, 1992. 79 с.

Техника мобильная сельскохозяйственная. ГОСТ 26955-86, ГОСТ 26953-86, ГОСТ-26954-86. М., 1986.

Титова Н.А., Травникова Л.С., Козут Б.М., Кёриенс М. Органическое вещество и проблема устойчивости почв в XXI веке: соотношение и состав активной и инертной части органического вещества чер-

ноземов длительных полевых опытов // Современные проблемы почвоведения: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 2000. С. 369–383.

Толковый словарь по почвоведению / Отв. ред. А.А. Роде. М.: Наука, 1975. 288 с.

Уткаева В.Ф. Восстановление структуры серых лесных почв сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 1987. № 8. С. 127–133.

Уткаева В.Ф. Удельная поверхность и теплота смачивания различных типов почв европейской территории России // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1336–1346.

Уткаева В.Ф., Сапожников П.М., Щепотьев В.Н. Изменение параметров структуры почв при уплотняющем действии сельскохозяйственной деятельности // Почвоведение. 1986. № 2. С. 54–62.

Уточкин В.Г., Чумаченко И.Н., Сушеница Б.А. Особенности агрохимической оценки различных видов сырьевых источников питательных веществ // Совершенствование методологии агрохимических исследований. Матер. научн. конф., Белгород, 1995. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. С. 106–120.

Физико-агрономический словарь / Под ред. В.П. Якушева. СПб.: Изд-во Агрофиз. ин-та РАСХН, 2000. 140 с.

Францессон В.А. Об окультуренности и окультуривании почв. Избр. тр. М.: Сельхозиздат, 1963. С. 119–149.

Фрид А.С. Принципы разработки системы справочных данных по плодородию почвы // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1985. Вып. 36. С. 6–8.

Фрид А.С. Система моделей плодородия почв: разработка и использование: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1990. 35 с.

Фрид А.С. Международный анализ почвенных и растительных образцов. Межлабораторная метрологическая характеристика // Агрохимия. 2006. № 7. С. 49–62.

Фрид А.С., Прохорова З.А. Изучение многолетней динамики подвижных фосфатов в дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 1986. № 6. С. 22–28.

Фрид А.С., Большаков В.А. О метрологическом обосновании количественных шкал почвенных признаков // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1988. Вып. 42. С. 42–44.

Фрид А.С., Большаков В.А. Вопросы метрологии при разработке моделей плодородия // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 1989. Вып. 53. С. 10–13.

Фрид А.С., Гребенников А.М. Устойчивость почв России к деградации по плодородию при кислотных и щелочных воздействиях // Агрохимия. 1999. № 2. С. 5–11.

Хабаров А.В., Яскин А.А., Фрид А.С., Хабаров В.А., Граковский В.Г. Рекомендации по учету показателей загрязнения земельных участков тяжелыми металлами при оценке их качества в целях сертификации. М.: Гос. ун-т по землеустройству, 1997. 53 с.

Христенко А.А. Уровень динамического равновесия фосфатных систем пахотных почв // Агрохимия. 2004. № 5. С. 78–84.

Чертов О.Г., Чуков С.Н. Комплексная оценка состояния почв города // Тез. докл. II съезда Общества почвоведов России. 1996. Кн.1. С. 231–232.

Чижикова Н.П. Влияние орошения на изменение минералогического состава черноземов и каштановых почв // Почвоведение. 1995. № 1. С. 128–144.

Чуб М.П., Пронько В.В., Потатурина Н.В., Бажан Г.Н. Эффективность и баланс фосфора в зернопаровом севообороте на черноземе южном при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2004. № 11. С. 18–26.

Шаманаев В.А. Агрохимическая и агроэкологическая оценка осушения и различных способов длительного использования торфяных почв: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 2000. 40 с.

Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 430 с.

Шеин Е.В., Карпачевский Л.О. Толковый словарь по физике почв. М.: ГЕОС, 2003. 125 с.

Шептухов В.Н., Решетина Т.В., Березин П.Н., Карманов И.И., Виноградов Б.В., Зимовец Б.А. О совершенствовании оценки процессов деградации почв // Почвоведение. 1997. № 7. С. 799–806.

Шильников И.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Определение потерь кальция из пахотных почв по данным полевых опытов // Плодородие. 2004. № 2(17). С. 21–23.

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.

Шишов Л.Л., Шеремет Б.В., Фрид А.С., Малахова И.А. Система рекомендуемых (РСД) и стандартных (ССД) справочных данных по основным почвенным разностям районов интенсивного земледелия // Факторы и критерии оценки плодородия почв: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1986. С. 4–12.

Шурыгина Е.А. Минералогическая характеристика илистой фракции черноземов Каменной степи // Вопр. травопольной системы зем-

леделия. Т. 2. Итоги работ по изучению изменения почв под воздействием комплекса Докучаева–Костычева–Вильямса. М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 268–302.

Щербаков А.П., Васенёв И.И. Агрогенная деградация черноземов ЦЧО: анализ и приоритеты исследований // Проблемы плодородия почв на современном этапе: Сб. мат. Всерос. науч. конф. Пенза, 2002. С. 11–18.

Экологические требования к орошению почв России. Рекомендации / Под ред. Б.А. Зимовца и Н.Б. Хитрова. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1996. 72 с.

Bulinski J. Compaction problems of the arable soils [Проблемы уплотнения пахотных почв с.-х. техникой и практические рекомендации по снижению уплотнения. (Польша)] Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roslinnej. Warszawa, 2006. P. 11–20.

Körschens M. Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und planzenbaulichen Massnahmen, ihre Beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz. – Berlin: Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR. Diss. B., 1980.

Wolkowski R.P. Relationship between wheel-traffic-induced soil compaction, nutrient availability, and crop growth: a review [Влияние уплотнения почвы с.-х. техникой на физические и химические свойства почвы. (США)] // J. Product. Agr. 1990. V. 3. N 4. B. 460–469.

Научно-справочное издание

ЗОНАЛЬНО-ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ НОРМАТИВЫ
ИЗМЕНЕНИЙ АГРОХИМИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
И ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ПАХОТНЫХ
ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ
ПРИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Методические рекомендации

Коллектив авторов

Отв. редактор д-р с.-х. наук Н.Б. Хитров

Редактор К.Т. Острикова

Компьютерная верстка Е.В. Манаховой

ISBN 978-5-86921-072-2



9 785869 210722

Подписано в печать с оригинал-макета

Формат 60 × 90 1/16. Бумага тип. № 1. Усл. печ. л. 11.

Тираж 300 экз. Заказ № 6. Цена договорная.

ГНУ Почвенный институт
им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии
119017, Москва, Пыжевский пер., 7

Типография Россельхозакадемии
115598, Москва, ул. Ягодная, д. 12