УДК 631.412:434:421

Интегральная устойчивость дерново-подзолистых почв Нечерноземья: теории, показатели, модели, агротехнологии удобрений

Прудникова А. Г., Прудников А.Д., Павлюченкова В.А., Богданова Л.И.

Смоленская государственная сельскохозяйственная академия

Аннотация

В статье проанализированы основные подходы к оценке устойчивости почв агроценозов. Выявлено, что механизмы устойчивости почв заложены в структуре и характере связей между биотой и абиотическими частями системы, а также определяются внутрикомпонентными и межкомпонентными связями между ними. Установлено, что структура почвы – важнейший аспект устойчивости любой агроэкосистемы, сохраняющийся при изменении ее состояний. Предложена базисная модель интегральной устойчивости дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и земледельческие технологии ее обеспечения.

Ключевые слова: ПОЧВА, АГРОЦЕНОЗ, АГРОЭКОСИСТЕМА, УСТОЙЧИВОСТЬ, СТАБИЛЬНОСТЬ, УПРУГОСТЬ, ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТЬ, ИНЕРТНОСТЬ, ПЛАСТИЧНОСТЬ

Устойчивость почвы как компонента биосферы и ключевого звена агробиоценоза представляет большой интерес при разработке агротехники сельскохозяйственных культур, экологических нормативов, прогнозе последствий деградации, совершенствования оценки и бонитировке почв, проведении мониторинга. Обострение экологической ситуации ставит проблему устойчивости биосферы и ее компонентов (главным образом, почв) в ряд главных проблем современности. Острота и сложность проблемы устойчивости состоит в значительной взаимосвязи компонентов природных систем, многообразии их функционирования. Это предполагает использование при ее решении методологии общей теории систем и системного анализа.

=====

Основные подходы к разработке теории устойчивости почв и агроэкосистем отражены в трудах М.А. Глазовской (1997), В.Д. Васильевской (1994), Г.В. Добровольского (1999, 2000), И.М. Рыжовой (2003), И.Н. Росновского (2003), В.А. Черникова (2001) и др. [1-5]. Поскольку почвы представляют собой буферные открытые динамичные системы, связанные с окружающей средой потоками веществ и энергии, то основные понятия и положения теории систем в полной мере применимы к почвам.

Устойчивость, как правило, отождествляется с понятиями «надежность, стабильность, гомеостазис» – свойствами живых существ [6, 7]. Надежность функционирования биологических систем достигается благодаря их сложности и многообразию образующих их подсистем, возможности компенсации, восполнения функций другими подсистемами либо адаптации подсистем к изменяющимся условиям.

Применительно к почвам как самоорганизующимся и самовосстанавливающимся системам, важное значение имеет выявление и познание механизмов устойчивости.

Механизм устойчивости почв к техногенным кислотным воздействиям связывают с их буферностью [1, 8]. Буферность почвенного раствора обусловлена его гетерогенным составом и наличием устойчивых и подвижных соединений раствора и твердой фазы.

Устойчивость почвы к уплотнению машино-тракторными агрегатами обусловлена иерархией ее структурной организации и прочностью структуры, зависящей от типа структурных связей [9-13].

Биологическую устойчивость почвы обуславливает видовое разнообразие микроорганизмов, обеспечивающее устойчивое функционирование биологических циклов [14].

Следовательно, устойчивость почвы – понятие комплексное и охватывает как частные виды устойчивости (химическую, физическую, биологическую), так и общую – интегральную. Только интегральная оценка позволяет определить состояние устойчивости во времени и пространстве.

По количественной оценке устойчивости почв единого мнения среди ученых нет. М.А. Глазовская (1990) в соответствии с буферностью приводит классификацию почв мира по устойчивости к кислотным осадкам и физиологически кислым удобрениям [1].

Подходы других ученых основаны на системе оценок свойств почв и внешних факторов: ЕКО, мощности гумусового горизонта, водного режима, положения в

ландшафте, крутизны склона [2, 15-17].

В.А. Черников [5] предлагает оценку устойчивости агроэкосистем проводить по коэффициенту биологической утилизации азота.

И.Н. Росновский [9] к оценочным показателям устойчивости почв к механическим нагрузкам относит прочность структуры (Рстр.) – предел упругости, до которого почва сохраняет способность полностью восстанавливать исходное физическое состояние после прекращения механического воздействия.

Параметры реальных агроэкосистем не являются постоянными, стабильными. Сложная динамическая система характеризуется, как правило, набором состояний, определяемых особенностями функционирования. Если система устойчива, то в ней сохраняется некоторый инвариант, что не противоречит изменению состояний в пределах допустимого диапазона. Т.М.Куприянова [18] считает инвариантом системы ее структуру. По мнению Ю.Г. Пузаченко [19], устойчивая система изменяется под воздействием возмущающих факторов, но возвращается к состоянию, близкому к исходному. Инвариантная система в тех же условиях вообще не изменяет своего состояния. Поэтому инвариантность представляет большой практический интерес, так как при такой системе возможен широкий спектр ее хозяйственного использования. Тем не менее, следует знать, какие конструктивные особенности системы определяют ее естественную инвариантность. В природных системах она обусловлена гетерогенностью их структуры, многоканальной компенсацией внешних возмущений.

Интегральным показателем устойчивости почвы является ее плодородие. Плодородие почв определяется содержанием гумуса и его качественным составом. В гумусе заключено до 98% почвенного азота, 60% фосфора и 80% серы. Гумус является источником микроэлементов, витаминов и ферментов. Велика роль гумуса в формировании структуры почвы, которая оказывает положительное действие на физические и физико-механические свойства: плотность, пористость, водопрочность, твердость, пластичность, набухание, липкость [13, 20-22]. С увеличением содержания гумуса возрастает устойчивость почв к неблагоприятным воздействиям природного и антропогенного происхождения. Следовательно, гумус является основой (ядром) почвенной устойчивости. Трансформация органического вещества почвы – постоянно протекающий процесс, от направленности которого зависит направление трансформации почвенного плодородия, а,

значит, и интегральная устойчивость. Каждая почва имеет «свой» определенный уровень содержания гумуса, обеспечивающий ее устойчивость. Для оценки устойчивости пахотных почв, постоянно подвергающихся антропогенным воздействиям, предлагаются разные критерии [15]. Однако, по мнению А.М. Лыкова, А.И.Еськова, М.Н.Новикова [23], при одинаковых почвенных и климатических условиях необходим нормативно-технологический подход с использованием общепринятых и легко учитываемых показателей. Таких нормативных показателей, пригодных для оценки почв всех природно-климатических зон, нет. Тем не менее, имеются разработки, в которых приведены оптимальные, по мнению авторов, параметры корнеобитаемого слоя черноземов [24], серых лесных [25], дерново-подзолистых среднесуглинистых [26], супесчаных и песчаных [27] почв, которые могут использоваться при оценке их устойчивости. Не вызывает сомнения, что развитие растений и состав почвенной биоты, от которых зависят скорость и направленность трансформации органического вещества и элементов питания, определяются физическими свойствами почвы. Они определяют характер развития корневых систем растений и большинство параметров такой гетерогенной среды, как почва, что влияет на накопление надземной фитомассы и величину урожая.

Условно соподчиненность факторов плодородия в агроценозах отражает рис. 1.

Рис. 1. Соподчиненность факторов плодородия в агроценозе

Физическая устойчивость тесно связана с органической и минеральной составляющей почвы и прочностью взаимосвязи между ними. Физические свойства почвы обусловлены гранулометрическим составом и структурой. В условиях пластического состояния почвы весной, когда максимально выражены процессы набухания и когезии, происходит самоорганизация почвенной структуры под влиянием коагуляции коллоидов и

склеивания частиц почвы. Поэтому границы пластичности почвы – верхнюю (ВГП) и нижнюю (НГП) следует считать одними из основных параметров физической устойчивости почв.

Верхний предел пластичности в значительной мере определяет устойчивость почв к водной эрозии. При влажности, превышающей ВГП, почва приобретает способность растекаться, сползать по склону. Нижний предел пластичности – это влажность физической спелости почвы, при которой возможна ее механическая обработка. С наступлением физической спелости почва имеет хорошо выраженную прочную структуру разных размеров. Гетерогенность структурной организации почвы повышает ее устойчивость к техногенным воздействиям, а коэффициент структурности (*Kстр.*) может быть объективным показателем физической устойчивости почвы.

Важной характеристикой структуры является ее прочность (*Pстр.*). Этим показателем определяется первый барьер устойчивости почв к механическим воздействиям – их упругость. Следовательно, прочность структуры (*Pстр.*) также может служить показателем физической устойчивости почвы. Обладая упругостью, почва способна через некоторое время, зависящее от периода релаксации, возвращаться в исходное состояние. За период релаксации следует принимать *число пластичности*, т.е. «время поспевания» почвы от состояния полного насыщения водой до состояния физической спелости. Повышение содержания физической глины в почве удлиняет период релаксации. Данное явление подтверждается гораздо более поздним наступлением физической спелости глинистых и тяжелосуглинистых почв.

При оценке физической устойчивости почв заслуживает внимания величина *предельной нагрузки* – F (кг/см^2), при которой происходит разрушение структурных связей. Удельное давление движителей сельскохозяйственных машин и орудий, а также транспортных средств, не должно превышать величину предельной нагрузки, установленную для той или иной влажности почвы.

Эрозионная устойчивость склоновых земель, характеризующая их способность противостоять эрозионным деформациям, представляет надежную количественную основу почвозащитного земледелия. При обосновании противоэрозионных мероприятий анализировать устойчивость следует с позиции замкнутых систем. Количественной оценкой эрозионной устойчивости почв может быть *сопротивление размыву* – R .

Биологическая устойчивость почв определяет их самоочищающую способность, обуславливает способность микроорганизмов осуществлять трансформацию и геохимическую миграцию подавляющего большинства химических элементов в биосфере, поскольку свыше 70 элементов периодической системы подвержено микробиологическому воздействию. Благодаря микроорганизмам почвенный покров выполняет роль глобальной биогеохимической мембраны, обеспечивающей устойчивый обмен веществом и энергией между литосферой, атмосферой, гидросферой и всеми обитающими на земле организмами. Универсальность почвы как среды обитания самых разнообразных микроорганизмов состоит в ее способности обеспечивать условия для существования не только большого числа видов, но и для одновременного функционирования весьма далеких по своим потребностям организмов.

Важный механизм поддержания устойчивости почв – образование комплексных (хелатных) соединений, обладающих повышенной растворимостью и тем самым ускоряющих миграцию элементов и усиливающих процесс «самоочищения» почв.

Для современных агроэкосистем характерно снижение видового разнообразия микробиоценозов почв, что ведет к падению их устойчивости. Одним из показателей, отражающих устойчивость почв, – *относительным показателем биогенности почвы (ОП)* служат количественные значения соотношения численности микроорганизмов различных систематических групп бактерии/грибы [28]. Направленность микробиологических процессов характеризуется показателем, связанным с превращениями азотсодержащих соединений, – *коэффициентом минерализации (КМ)* растительных остатков, представляющим собой соотношение микроорганизмов, растущих на КАА и на МПА (КАА/МПА) [29]. Другие исследователи [30, 31] для оценки биологической устойчивости предлагают использовать численность и биомассу организмов, активность ферментов.

Представленный теоретический анализ понятий и показателей устойчивости агроэкосистем и почв как их основной составляющей позволяет выявить их динамику от интенсивности использования, систем удобрений и агромелиоративных приемов, определить основные критерии для тех или иных типов и подтипов почв, а также обосновать земледельческие технологии, способствующие сохранению и повышению плодородия и интегральной устойчивости почв.

Материалы и методы

Исследование изменения показателей плодородия дерново-подзолистой почвы проведены в длительном опыте Московской сельскохозяйственной академии (МСХА-РГАУ им. Тимирязева) и Долгопрудненской агрохимической опытной станции с 1972 по 1976 гг, а с 1978 года – на опытном поле Смоленской государственной сельскохозяйственной академии и в хозяйствах Смоленской области.

Методика закладки опытов и статистическая обработка результатов исследований проведены по Б.А. Доспехову [32].

Агрохимические исследования выполнены по общепринятым методикам [33].

Агрофизические свойства почвы изучены и определены по методикам А.Ф.Вадюниной, З.А.Корчагиной [34].

Реологические свойства и характер структурообразования дерново-подзолистой почвы изучены с помощью ротационного вискозиметра РВ-8 [35].

Прочностные свойства почвы исследованы с помощью конического пластометра Ребиндера [36].

Соппротивление эродированных почв размыву изучено по методике Г.В. Бастркова (1993).

Общая биологическая активность почв и состав почвенной микрофлоры определены по методике Е.З. Теппер [37].

Результаты

Представление о почве как компоненте биогеоценоза и его сущностном свойстве – плодородии связано с накоплением специфического продукта биологического использования органических остатков – гумуса (гуминовых веществ), являющихся устойчивым в данных гидротермических условиях, как бы конечным продуктом в биологической цепи превращений растительного материала. Аккумуляция этого особо устойчивого продукта биогенного превращения растительных остатков обеспечивает почве появление качественно новых свойств: специфической емкости поглощения, буферности, структурности, пористости, влагоудерживающей способности и др. [38]. Потому в биогеоценозах управляемой подсистемой служит косвенная их часть, а управляющей – жизнь, биологический фактор [39]. Экосистемная сущность агрофизических свойств,

приемов. Разуплотнение почвы на такой глубине возможно только под действием природных факторов в течение длительного периода. На дерново-подзолистых почвах, быстро уплотняющихся уже к концу вегетационного периода, важным показателем является пористость аэрации. Недостаток кислорода воздуха в почве замедляет развитие микробиологических процессов, превращение веществ и энергии и агроценоотический метаболизм в целом. Длительные наблюдения показали, что в большинстве случаев пористость аэрации на пахотных почвах изменяется в пределах 6-9 % вместо необходимых для растений 15-25 %. Безусловно, этот показатель подвержен динамике в зависимости от системы удобрений, известкования и интенсивности механической обработки.

Следует обратить внимание и на такой важный показатель устойчивости дерново-подзолистых почв, как влажность «физической спелости» почв – влажность нижней границы пластичности (НГП). В естественных биогеоценозах «физическая спелость» наступает при гораздо более высокой влажности, чем в агроценозах. Аналогичная картина наблюдается и по прочностным характеристикам почвы естественных экосистем и агроценозов.

Длительные исследования показали, что агрофизические и физико-механические показатели пахотной дерново-подзолистой почвы находятся в разной степени зависимости от содержания органического вещества, и именно недостаток гумуса обуславливает низкие их показатели (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость агрофизических и физико-механических показателей устойчивости дерново-подзолистых почв от содержания гумуса (С,%)

Агрофизические и физико-механические свойства	Функциональная зависимость	R*, μ
Плотность, d	$d = 1,555 - 0,1386C$	$0,761^* \pm 0,115$
Пористость, V	$V = 41,35 + 5,199C$	$0,762^* \pm 0,114$
Водопрочность, B	$B = 31,0 + 21,28C$	$0,856^* \pm 0,089$
Коэффициент структурности, Кстр.	$K_{стр.} = 0,3716 + 0,7167C$	$0,817^* \pm 0,101$
Пластичность:	$B_{ГП} = 14,5 + 5,131C$ $H_{ГП} = 12,56 + 3,354C$	$0,611^* \pm 0,133$ $0,516^* \pm 0,164$

Агрофизические и физико-механические свойства	Функциональная зависимость	R*, μ
Пластическая прочность структуры $P_m=f(C)$: при влажности предела текучести, W_t при влажности максимального набухания, W_n	$P_{mt} = \frac{C}{0,01747 + 0,95454C - 0,6627C^2}$	$0,990 \pm 0,011$
	$P_{mn} = -0,1455 + 0,3614 C$	$0,765^* \pm 0,104$
Предельная нагрузка $F=f(C)$: при W_t при W_n	$F_t = \frac{C}{-0,07667 + 3,906C - 0,6544C^2}$	$0,989 \pm 0,012$
	$F_n = -0,02402 + 0,83C$	$0,826^* \pm 0,105$

Примечание: *R – коэффициент корреляции линейной функции, μ – корреляционное отношение

Установленные зависимости позволяют заключить, что повышение физической и интегральной устойчивости дерново-подзолистой почвы сопряжено с улучшением «гумусового хозяйства» агроценозов. Поэтому все земледельческие технологии должны быть ресурсосберегающими. Это касается, прежде всего, внесения удобрений для оптимизации питания растений, систематического известкования или фосфоритования, внедрения в севообороты многолетних бобовых трав и сидеральных культур и, безусловно, экологизация обработки почвы

В таблице 3 представлены базовые параметры интегральной устойчивости дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы как результат длительного изучения агрофизических, физико-механических и химических свойств почв в длительных, краткосрочных и модельных опытах с различными удобрениями, известковыми материалами и обработками.

Изученные технологии воспроизводства плодородия дерново-подзолистых легкосуглинистых почв и их интегральной устойчивости позволяют обеспечить высокую продуктивность агроценозов: зерновых культур – до 3-4 т/га, кукурузы – 10,6 т/га к.ед., клубней картофеля – 35-47 т/га, многолетних бобово-злаковых трав – 8-10 т/га с.в.

Таблица 3. Базовые параметры модели интегральной устойчивости дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Вид и показатели устойчивости	Оптимальные параметры	Земледельческие и мелиоративные технологии, обеспечивающие достижение и поддержание оптимальных параметров
<p>Физическая и противозерозионная</p> <ul style="list-style-type: none"> - Мощность пахотного слоя, см - Коэффициент структурности - Пластическая прочность структуры (кПа) при W_t - Предельная нагрузка, кгс/см², при W_t..... - Верхняя граница пластичности, % - Нижняя граница пластичности, физическая спелость, % - Число пластичности - Сопротивление размыву, Н 	<p>25-27</p> <p>1,5-2,5</p> <p>1,5-3,0</p> <p>0,1-0,6</p> <p>25-28</p> <p>20-23</p> <p>3-7</p> <p>17-30</p>	<p>Внедрение научно обоснованных севооборотов, включающих 1-2 поля многолетних бобовых трав, периодическое (1-2 раза за ротацию) углубление пахотного слоя путем вспашки с одновременным щелеванием, чизелевание, проведение локального щелевания. Окультуривание почвы путем внесения навоза и компостов в количестве 10-20 т/га в расчете на год, посев сидератов на 30% площади; совместное применение органических и минеральных удобрений, снижение уровня техногенной нагрузки за счет совмещения и сокращения числа технологических проходов техники по полю и использования комбинированных агрегатов</p>
<p>Химическая и физико-химическая</p> <ul style="list-style-type: none"> -Содержание гумуса(%) -Запас гумуса в пахотном слое (т/га) -Содержание P_2O_5 (мг/кг) -Содержание K_2O (мг/кг) - рН сол. 	<p>2,0 и более</p> <p>50-70</p> <p>180-200</p> <p>200-250</p> <p>6-7</p>	<p>Внесение навоза и компостов в количестве 10-20 т/га в расчете на год, компостов многоцелевого назначения (КМН), посев пожнивных сидератов или сидеральных паров, оставление на поле нетоварной части урожая (соломы, ботвы и др.), рациональное с экологической точки зрения внесение минеральных удобрений в сочетании с органическими и сидератами, известкование</p>
<p>Биологическая</p> <ul style="list-style-type: none"> -Общая биологическая активность, % -Уровень биологической 	<p>50-70</p>	<p>Систематическое внесение органо-минеральных удобрений, заплата сидератов, известкование, повышение средообразующей роли культурных растений путем правильного выбора</p>

Вид и показатели устойчивости	Оптимальные параметры	Земледельческие и мелиоративные технологии, обеспечивающие достижение и поддержание оптимальных параметров
активности	4-5	предшественников, сроков и способов сева

Выводы

1. На малоплодородных дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны главным фактором формирования показателей интегральной устойчивости является органическое вещество почвы. Для поддержания устойчивости почвы к антропогенным воздействиям – переуплотнению, кислотным осадкам и минеральным удобрениям, химическому загрязнению и др. содержание гумуса в пахотных почвах должно быть не менее 2,0-2,5 % С.

2. Органическое вещество определяет на 90-96 % физическую и противозерозионную устойчивость благодаря формированию более прочной структуры, способной противостоять размывающему действию водного потока.

3. Системное взаимодействие составляющего технологического комплекса способствует повышению интегральной устойчивости дерново-подзолистой почвы за счет обогащения органическими комплексами, двухвалентными катионами, металлами в комплексных соединениях, кислородсодержащими (карбоксильными и гидроксильными), серосодержащими и азотсодержащими группами и усиления внутривидовых связей (химических, ионно-электростатических, водородных, кулоновских, поляризационных, дисперсионных, капиллярных и магнитных).

Список использованных источников

1. Глазовская М.А. Методологические основы эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 127 с.
2. Васильевская В.Д. Устойчивость почв к антропогенным воздействиям // Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв. М. – 1994. – С. 61-79.
3. Добровольский Г.В. Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. – М.:

ГЕОС 1999. – 278 с.

4. Рыжова И.М. Анализ устойчивости почв на основе теории нелинейных динамических систем // Почвоведение. – 2003. – №5. – С. 583-590.

5. Черников В.А., Милащенко Н.З., Соколов О.А. Устойчивость почв к антропогенному воздействию. Кн. 3. – Пущино. – 2001. – 203 с.

6. Арманд А.Д. Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различного рода внешним воздействиям / В сб. Устойчивость геосистем. – М.: Наука, 1983. – С. 14-32.

7. Одум Ю. Экология. Т. 1.2. – М.: Мир, 1986. – 328 с. – 376 с.

8. Савич В.И., Байбеков Р.Ф., Банников В.Н. Физические свойства почв как матрица их плодородия // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М., 2002. – 85 с.

9. Росновский И.Н. Устойчивость почвы: техногенно-механические аспекты. Новосибирск.-Наука.-1993.-159 С

10. Росновский И.Н. Устойчивость почв в экосистемах как основа экологического нормирования. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2001. – 252 с.

11. Фокин А.Д. Устойчивость почв и наземных экосистем // Известия ТСХА. – 1995. – Вып. 2. – С. 71-85.

12. Абрукова Л.П., Прудникова А.Г. Реологическая характеристика дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Известия ТСХА. – 1975. – Вып.3. – С. 105-112.

13. Прудникова А.Г., Морозова Н.П., Хайдапова Д.Д. Физико-механические подходы к оценке устойчивости почвы // Доклады ТСХА. Вып. 274. – 2002. – С. 226-230.

14. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. – М.: Наука, 1990. – 261 с.

15. Снакин В.В., Мельниченко В.Е., Бутовский Р.О. Оценка состояния и устойчивости экосистем. – М.: ВНИИ Препринт, 1992. – 179 с.

16. Башкин В.Н. Фундаментальные основы устойчивой биопродуктивности агроэкосистем // Земельная реформа и проблемы развития земледелия СССР. – Курск. – 1992. – С. 220-225.

17. Жариков С.Н. Устойчивость некоторых пахотных почв // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. – 1996. – №1. – С. 35-41.

18. Куприянова Т.М. Обзор представлений об устойчивости физико-географических систем // Устойчивость геосистем. – М.: Наука. – 1983. – С. 7-13.

19. Пузаченко Ю.Г. Инвариантность геосистем и их компонентов // Устойчивость геосистем. – М.: Наука. – 1983. – С. 32-41.

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

21. Прудникова А.Г. О роли гумуса в регулировании физико-механических свойств почв // Изменение плодородия почв в условиях интенсивного использования. – М.: ТСХА. – 1981. – С. 31-35.

22. Прудников А.Д., Рассохина В.В., Прудникова А.Г. Комплексная оценка природных лугов в верхнем течении Днепра // Известия ТСХА. – 1991. – Вып. 3. – С.22-31.

23. Лыков А.М., Еськов А.И., Новиков М.Н. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. – М., 2004. – 630 с.

24. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 160 с.
25. Кувшинов Н.М. Агрофизические факторы почвенного плодородия серых лесных почв для ведущих сельскохозяйственных культур Нечерноземной зоны России и их регулирование в условиях интенсивного земледелия. Автореф. дисс. докт. с.-х. наук. – Брянск, 1996. – 42 с.
26. Матюк Н.С. Ресурсосберегающие технологии снижения переуплотнения почв в современных системах земледелия Нечерноземной зоны России. Автореф. дисс. доктора с.-х. наук. – М., 1999. – 40 с.
27. Белоус Н.М. Повышение плодородия песчаных почв. – М.: Колос, 1997. – 192 с.
28. Берестецкий О.А. Роль культурных растений в формировании микробных сообществ. Автореферат дисс. доктора биол. наук. – Л., 1982. – 37 с.
29. Мишустин Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. – М.: Наука, 1975. – 106 с.
30. Звягинцев Д.Г. Организация и устойчивость микробных систем и закономерности их антропогенных изменений // Структурно-функциональная организация и устойчивость биологических систем. – Днепропетровск, 1990. – С. 78-89.
31. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям // Почвоведение. – 2002. – №5. – С. 580-587.
32. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
33. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
34. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
35. Аbruкова Л.П. Изучение тиксотропных свойств почв с помощью ротационного вискозиметра РВ-8 // Почвоведение. – 1970. – №8. – С. 83-90.
36. Аbruкова Л.П. Применение конического пластометра для исследования прочностных свойств почв // Почвоведение. – 1980. – №7.
37. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзев Г.И. Практикум по микробиологии. – М.: Колос, 1993. – 175 с.
38. Арчегова И.В., Гецен М.В. Экологические основы управления продуктивностью агрофитоценозов Восточноевропейской тундры. – Л.: Наука, 1991. – 152 с.
39. Ивашов А.В. Биоценоотические системы и их атрибуты // Журнал общей биологии. – 1991. – Т. 52. – №1. – С. 115-127.

Цитирование:

Прудникова А. Г., Прудников А.Д., Павлюченкова В.А., Богданова Л.И. Интегральная устойчивость дерново-подзолистых почв Нечерноземья: теории, показатели, модели, агротехнологии удобрений [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_319.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20213319>.