

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
( **Н И У « Б е л Г У »** )

ФАКУЛЬТЕТ ГОРНОГО ДЕЛА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

**Кафедра географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности**

**ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ  
ЧЕРНОЗЕМОВ**

**Выпускная квалификационная работа**

обучающейся по направлению подготовки

05.03.02 «География»

очной формы обучения

4 курса группы 81001402

Хачатрян Валерии Спартаковны

Научный руководитель  
Доцент кафедры  
географии,  
геоэкологии и  
безопасности  
жизнедеятельности,  
к.б.н. Новых Л.Л.

**БЕЛГОРОД 2018**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. АГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВЫ И ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЕГО ОЦЕНКИ .....	5
1.1. Структура почв и факторы, ее определяющие .....	5
1.2. Деградация структуры пахотных почв как современный глобальный процесс .....	8
1.3. Показатели, используемые для оценки структурного состояния почв .....	13
1.4. Коэффициент уязвимости структуры .....	18
2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	20
2.1. Общая характеристика участка «Ямская степь» .....	20
2.2. Объекты исследования .....	23
2.3. Методы и методики исследования .....	29
3. СОСТОЯНИЕ СТРУКТУРЫ ИССЛЕДУЕМЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ И СТЕПЕНЬ ИХ ДЕГРАДАЦИИ .....	33
3.1. Оценка степени деградации структуры пахотного чернозема .....	33
3.2. Изменение средневзвешенного диаметра агрегатов при распашке черноземов .....	37
3.3. Тенденции изменения уязвимости структуры пахотных почв .....	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	51

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Одной из задач геоэкологии является разработка показателей для оценки экологической ситуации [Голубев, 1999]. Почва является сложным компонентом ландшафта, требующим оценки не только химических, но и физических свойств. Физическое состояние почв вызывает в настоящее время особый интерес, так как оно не только играет важную роль в эволюции и функционировании почвенного покрова, но и зачастую становится лимитирующим фактором для роста и развития растений [Вронский, 1996].

Особенно активно изучается структура чернозёмов, многие вопросы её состояния не теряют актуальности и по сей день, вероятно, ввиду внедрения новых систем земледелия и увеличения разнообразия антропогенных воздействий на неё. На данное время существуют разные подходы к оценке деградации структуры почв [Медведев, 2013; Методы...,2015, Проблемы...,2008].

**Цель исследования:** рассмотреть возможность применения коэффициента уязвимости структуры для оценки деградации почвы.

**Объект исследования:** пахотные почвы.

**Предметом исследования** деградация структурного состояния почв.

При выполнении работы использовались следующие методы: научно-поисковый, картографический, измерения, математико-статистический и другие.

**Задачи:**

- 1) Рассмотреть показатели, используемые для оценки деградации структуры пахотных почв;
- 2) Определить структурно-агрегатный состав и водопрочность структуры целинного и пахотного черноземов;

3) Рассмотреть существующие подходы к оценке коэффициента уязвимости структуры и определить этот коэффициент по различным методам;

4) Установить тенденции изменения коэффициента уязвимости структуры в пахотных почвах по сравнению с целинными.

**Апробация работы.** Результаты исследований были представлены на следующих конференциях: Международной научной конференции XX Докучаевские молодежные чтения "Почва и устойчивое развитие государства" (Санкт-Петербург, 2017), XIV Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: исторический опыт и инновации» (Якаевские чтения) (Краснодар, 2017), а также в конференции по итогам научно-исследовательской работы студентов, аспирантов и молодых учёных в 2016 году. По итогам участия в конференциях опубликованы 2 печатных работы [Докучаевские чтения, Якаевские чтения].

# **1. АГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВЫ И ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЕГО ОЦЕНКИ**

## **1.1. Структура почв и факторы, ее определяющие**

Под структурой почвы традиционно понимают отдельности (единицы) различного размера, присутствующие в почве в различном сочетании. Они состоят из соединенных между собой механических элементов. В российском почвоведении структурой почвы называют её агрегированность, поэтому структура почвы представляется распределением агрегатов по размерам при доминировании агрономически ценных агрегатов [Шеин, Милановский, 2003]. Форма, размер и качественный состав структурных отдельностей в разных почвах, а также в одной почве, но в разных ее горизонтах неодинаковы [Кауричев, 1989].

Структура является фундаментальной характеристикой почвы, так как от неё зависят экологические и продуктивные функции, практически все режимы, а также плотность, пористость, сложение и т.д. Её изучению в отечественном почвоведении всегда уделялось много внимания. Доказательством тому служат известные работы ученых: П.А. Костычева, В.Р. Вильямса, А.Г. Дояренко, М.Х. Пигулевского, Н.А. Качинского, П.В. Вершинина, Л.Д. Бэвера, И.Н. Антипова-Каратаева [Ковда, Розанов, 1988].

Так как структура почвы является важной характеристикой почвы в целом, её формирование под действием разных факторов всегда интересовало учёных. В соответствии с результатами исследований, факторы формирования структуры почвы подразделяют на физико-механические, физико-химические, химические и биологические [Медведев, 2008].

К первой группе традиционно относят роль давления, которое оказывает влияние на разрастание корней, движение животных и насекомых, сооружение нор и камер, что в дальнейшем отражается на

агрегированности почвы. Здесь же можно отметить такой фактор как увеличение объёма почв во влажном состоянии. Чередующееся набухание и сжатие почвенной массы является одним из механических факторов структурообразования.

Структурные элементы, возникшие под влиянием физико-механических факторов, отличаются неустойчивостью по отношению к воде, поскольку в ходе формирования агрегатов не происходит коренного изменения состояния почвенных коллоидов.

Значительная роль в структурообразовании принадлежит физико-химическим факторам, которые зачастую перекликаются с физико-механическими. Здесь большое значение имеют процессы коагуляции глинисто-коллоидных веществ, приводящие к образованию водопрочных агрегатов. В данном процессе, в первую очередь, обращают внимание на присутствие минеральных и органических коллоидов, значительная часть которых принадлежит гумусу. Многие исследования доказывают прямо пропорциональную связь между процентным содержанием гумуса и содержанием водопрочных агрегатов [Дубовик, 2017].

Немалый вклад в образование структуры вносят химические факторы, которые характеризуются образованием новых химических соединений в процессе выветривания и почвообразования. Например, накопление малорастворимых или нерастворимых соединений, таких как углекислый кальций, силикаты магния, силикаты железа, способствует цементации первичных механических элементов. Влияние легкорастворимых соединений приводит к образованию «псевдоагрегатов», неустойчивых по отношению к воде. Многие химические элементы в почвенных условиях в виде легкорастворимых солей существовать не могут в связи с тем, что легко гидролизуются и выпадают в осадок в виде гидроксида или образуют труднорастворимые соединения, взаимодействуя с почвенными компонентами [Воробьева, 1998].

Биологические факторы предусматривают тесную связь между накоплением гумуса в почвах и деятельностью микроорганизмов. Высокая активность этих организмов позволяет утверждать, что все естественные процессы, происходящие в почве, являются прямо или косвенно биохимическими по своей природе. Многочисленные организмы, обильно населяющие почву, представлены микроорганизмами (бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли, Protozoa), позвоночными и беспозвоночными животными. Быстрая минерализация органического вещества в почве идет лишь благодаря совместной жизнедеятельности различных групп микроорганизмов [Кауричев, 1989].

Структурные отдельности различают, прежде всего, по форме и размеру. Данные характеристики структурных агрегатов почвы имеют диагностическое значение и систематизированы определенным образом. На рисунке 1.1 представлены типичные структурные элементы почв по классификации С.А. Захарова.

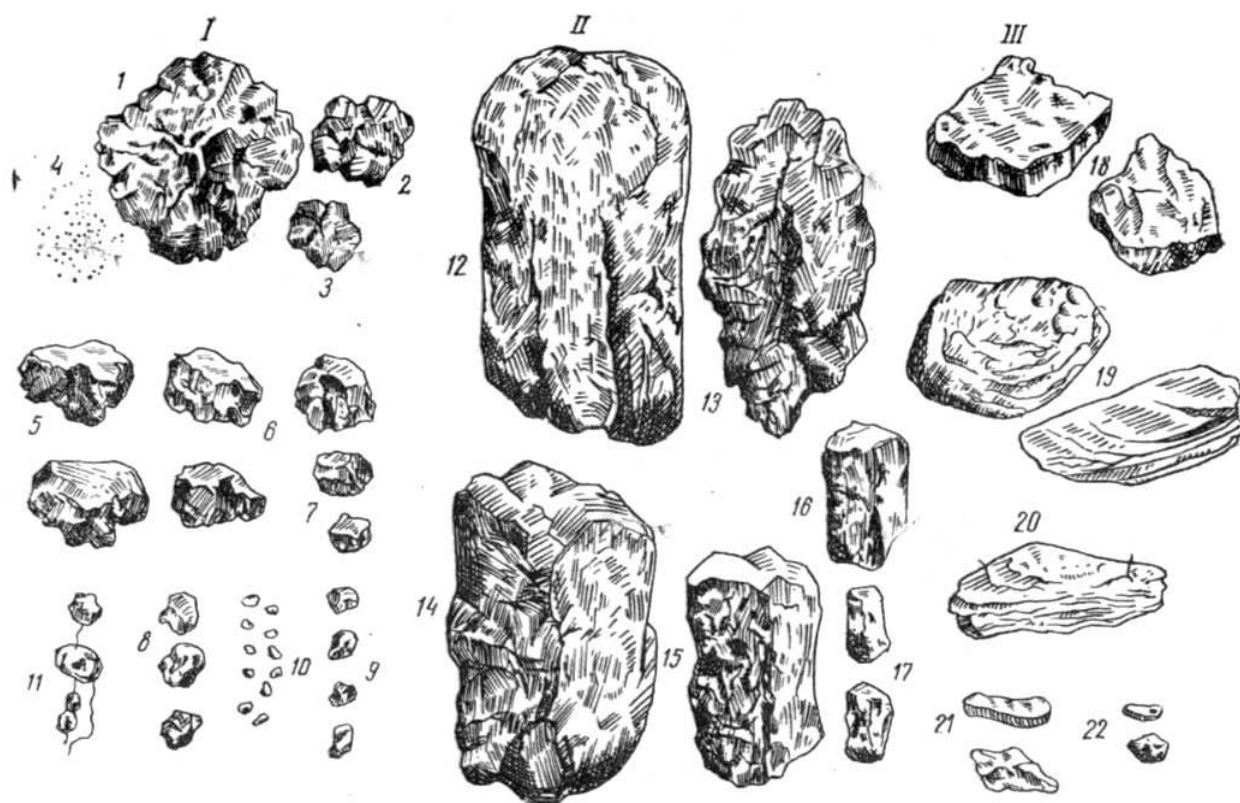


Рис.1.1. Типичные структурные элементы почв (по С.А. Захарову)

[Захаров, 1931]

В ней выделяются три типа (по развитию осей) и несколько родов (по форме) и видов (по размеру) (рис. 1.1). Классификация структурных элементов представлена в таблице (см. Приложение 1).

Во многих случаях почвы имеют смешанную структуру, что означает преобладание в том или ином горизонте структурных отдельностей разной формы и размеров.

## **1.2. Деградация структуры пахотных почв как современный глобальный процесс**

Проблема деградации почвенных (земельных) ресурсов и воспроизводства их плодородия носит глобальный характер и привлекает заслуженное внимание со стороны общественности и органов государственной власти большинства развитых стран мира (Программа ЮНЕП) [1972] Почва рассматривается в качестве ограниченного, частично возобновляемого природного ресурса, на восстановление которого требуются сотни и тысячи лет.

На данный момент у понятия «деградация земель» существует целый ряд формулировок. Так, «Географический энциклопедический словарь» [1988, С. 84] определяет деградацию почв как: постепенное ухудшение качества почв, снижающее почвенное плодородие, сопровождающееся разрушением почвенной структуры, уменьшением количества гумуса, обменных щелочноземельных катионов и илистой фракции. Наиболее полную формулировку данного термина приводит Н.Б. Хитров [1998, С. 20]: «Деградация почв – это вызванный человеком процесс ухудшения и/или утраты свойств и качеств почвы (в пределах элементарного почвенного ареала), результат которого способствует увеличению затрат различного ряда ресурсов (энергетических, сырьевых, информационных и прочих) для достижения получаемого количества и качества продукции и/или увеличению ограничений на дальнейшую деятельность человека».



Приводить к деградации почв могут различные факторы – природные, антропогенные, а также их комбинации. К природным факторам принято относить катастрофические явления, которые носят локальный характер и не приводят к существенным изменениям свойств почвы. Причем антропогенное воздействие обычно провоцирует активизацию природных процессов, которые до воздействия человека отсутствовали или были в подавленном состоянии. Ярким примером такого комбинированного воздействия может служить вторичное засоление почв.

Различают 3 основных категории деградации структуры почв: физическую, химическую и биологическую. Физическая деградация характеризуется ухудшением структурно-агрегатного состава, сложения почв, их морфогенетического или гидрофизического строения или гидрологического режима почвенного покрова. Для химической деградации характерно истощение запасов органического вещества и жизненно важных для растений питательных элементов, негативные изменения химических (физико-химических, геохимических) режимов почв, засоление, подкисление, загрязнение земель. К биологической деградации относятся негативные процессы изменения численности, видового разнообразия, состава и биомассы почвенной мезофауны и микробиоты, оказывающие отрицательное влияние на основные биохимические процессы и режимы почв [Методы..., 2015].

В разных литературных источниках встречаются совершенно различные классификации и наборы разновидностей деградации почв и земель сельскохозяйственного использования. Наиболее детальная таблица деградационных процессов с дополнительным включением видов профильной и общебиосферной деградации предложена кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (см. Приложение 2) [Методы..., 2015].

В настоящее время одним из наиболее типичных процессов деградации почв, вызванных человеком, является процесс потери органического вещества почв (или его важнейшей части – почвенного гумуса), который получил название дегумификации. Потеря гумуса, как правило, сопровождается ухудшением почвенных свойств, и это вынуждает рассматривать дегумификацию в качестве одной из важнейших причин снижения почвенного плодородия [Добровольский, 2002].

По данным Е.В. Дубовик [2017] внутри микроагрегатов в составе органического вещества черноземов преобладают устойчивые формы гумусовых веществ, а при образовании макроагрегатов в составе органического вещества доминируют лабильные формы. Таким образом образование агрономически ценной структуры зависит от наличия в них устойчивых форм гумусовых веществ.

Если сравнить структурные комочки целины (залежи) со структурой почвы, продолжительное время подвергавшейся обработке, то даже не прибегая к анализам можно сказать, что они сильно отличаются друг от друга. В зависимости от влажности на пашне преобладают комки неправильной формы и пороховатая структура [Медведев, 2008].

Другим видом деградации почв под действием антропогенного фактора можно назвать переуплотнение почв вследствие применения тяжёлой техники на пашне. В условиях интенсивного ведения сельскохозяйственного производства значительно усиливается воздействие на почву ходовых систем сельскохозяйственных агрегатов. Чрезмерное уплотнение почвы, происходящее под интенсивным воздействием ходовых систем мощных тракторов, тяжелых сельскохозяйственных машин и транспортно-технических средств, стало серьезной угрозой плодородию почвы, приводит к её разрушению и является одной из причин развития эрозионных процессов [Сидоренко, 2012]. По данным В.В. Медведева [2013] значительное увеличение массы сельскохозяйственных машин привело к увеличению плотности сложения до 1,5-1,8 г/см<sup>3</sup> (порог

критической плотности для чернозёмов – 1,3-1,4 г/см<sup>3</sup>, для дерново-подзолистых почв – 1,5-1,6 г/см<sup>3</sup>).

Механическое уплотнение означает уменьшение общего объёма порового пространства почвы за счёт межагрегатной и внутриагрегатной порозности, без существенного изменения других характеристик. Следствием этого процесса становятся явления уменьшения содержания активной влаги и порозности аэрации в диапазоне влажностей, оптимальных для обработки.

Уменьшение содержания гумуса влечёт за собой увеличение энергии взаимодействия твёрдой фазы и поровой жидкости, увеличение содержания прочносвязанной воды и уменьшение предела усадки. Это выражается в уменьшении содержания активной влаги, резком уменьшении пор аэрации, увеличении глубистости и в общем уплотнении почвы.

На физические свойства почв оказывают влияние различные факторы. Структурное состояние почв позволяют комплексно оценить направленность агрохимических, технологических и других воздействий на них в процессе их сельскохозяйственного использования [Березин и др., 1985].

Важно обратить внимание, что новые показатели должны быть устойчивыми. Иначе говоря, почву, которая способна восстановить природные физические показатели, нельзя назвать деградированной.

Почвы Белгородской области также испытывают на себе большую нагрузку: сельскохозяйственные угодья занимают 77,1% в структуре земель, в том числе 72,1 % – это пашни [Стат.сборник, 2017]. На рисунке 1.2. показана структура сельскохозяйственных угодий Белгородской области. Постоянная обработка почвы приводит к деградации её структуры.

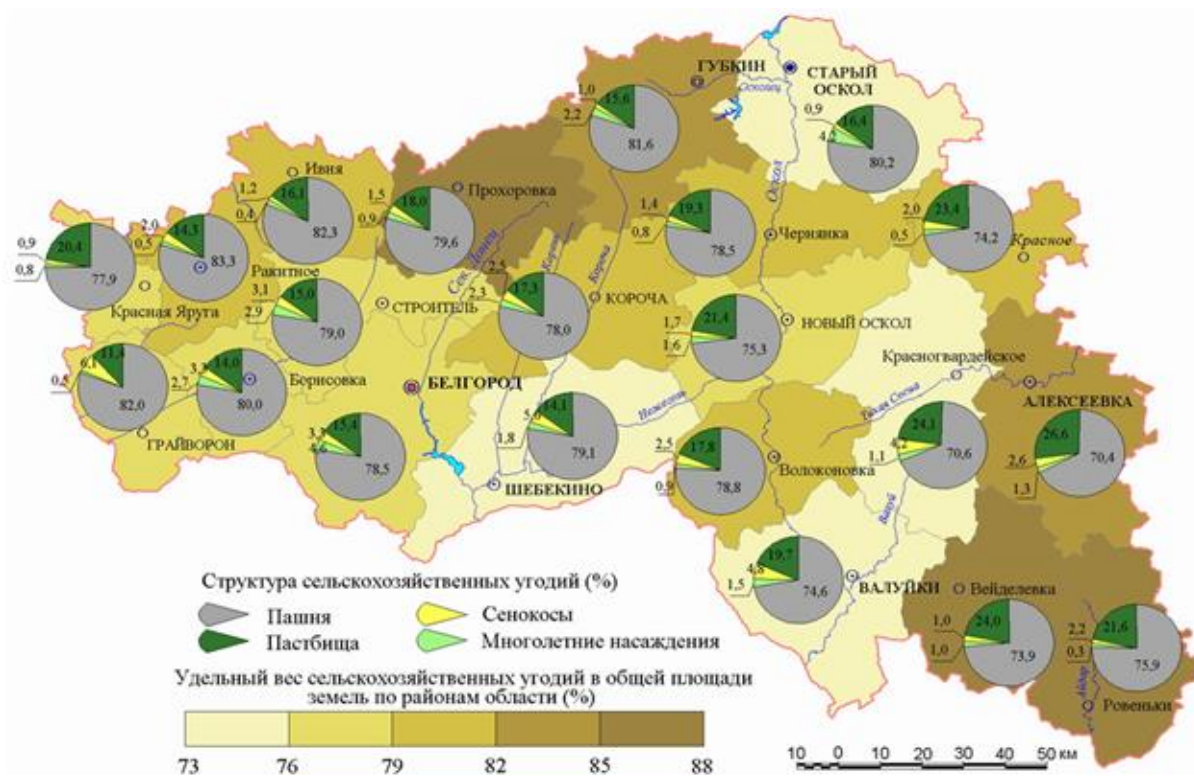


Рис. 1.2. Сельскохозяйственная освоенность Белгородской области [Атлас, 2004, С. 80]

Общие принципы построения системы преодоления физической деградации устанавливаются достаточно просто, ибо они основаны на использовании хорошо известных приёмов. Нужно «всего лишь» не допустить переуплотнения и ухудшения структурности почв. Если параметры этих свойств находятся в почве в благоприятном интервале значений, то основная направленность земледельческих технологий должна состоять в применении профилактических средств с целью их сохранения. По мере ухудшения физических свойств распахиваемых почв насыщенность улучшающими приёмами должна возрастать. И, наконец, если почва необратимо ухудшена (соответствующие критерии известны), почву следует вывести из сельскохозяйственного использования [Медведев, 2013].

### 1.3. Показатели, используемые для оценки структурного состояния почв

Существует множество показателей для характеристики структуры почв. Наиболее используемыми являются: содержание глыб (фракция >10 мм), пыли (<0,25 мм), агрономически ценных фракций (10 – 0,25 мм), коэффициент структурности, содержание водопрочных агрегатов размером >0,25 мм и коэффициент водопрочности [Шеин, 2005].

В физике почв структуру почвы оценивают количественно на основании распределения содержания агрегатов (воздушно-сухих и в воде) по их размерам. По данным авторов [Шеин, Гончаров, 2006], одним из первых количественных показателей структуры является содержание воздушно-сухих агрегатов различного размера.

По содержанию агрономически ценных агрегатов характеризуют агрегированность структуры почвы. Детальная оценка агрегатного состояния структуры почвы по процентному содержанию агрегатов размером 10-0,25 мм отображена в таблице 1.1.

*Таблица 1.1*

Оценка агрегатного состояния структуры почвы

Авторы	Содержание агрономически ценных агрегатов размером от 10 до 0,25 мм, %	Оценка структурного состояния
С.И. Долгов, П.У. Бахтин [Практикум...,1980, С. 91]	>80	Отличное
	80-60	Хорошее
	60-40	Удовлетворительное
	40-20	Неудовлетворительное
	<20	Плохое
Корчагин и др. [2011, С 23]	>60	отличное
	60–40	хорошее
	<40	неудовлетворительное

В настоящее время существует тенденция к упрощению подходов к оценке структурного состояния почв. Ярким примером тому служит завершение таблица 1.1, в котором представлена современная оценка агрегатного состояния структуры.

Обращает на себя внимание возможность различий оценки качества в схожих данных одного показателя. Например, И.С. Кауричев определяет структуру почвы как отличную при содержании агрономически ценных агрегатов превышающем 80 процентов от массы навески. В то же время А.А. Корчагин утверждает, что отличной структурой почвы обладает та, в которой содержание агрегатов 10-0,25 мм превышает 60 процентов. Таким образом, оценка качества структуры зависит от выбранного к ней подхода.

Оценку водоустойчивости структуры почвы проводят по агрегатному составу после «мокрого» просеивания, например, по количеству агрегатов  $>0.25$  мм. Чем больше таких агрегатов получено в результате просеивания почвы в воде, тем лучше водоустойчивость структуры. Оценка водопрочности структуры представлена в таблице 1.2.

*Таблица 1.2*

Оценка водопрочности структуры [Вадюнина, Корчагина, 1986,  
С. 69]

Содержание водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм, %	Оценка водопрочности
менее 10	отсутствует
10-20	неудовлетворительная
20-30	недостаточно удовлетворительная
30-40	удовлетворительная
40-60	хорошая
60-75	отличная
более 75	избыточно высокая

Структура почвы определяет многие качества почвы. Однако, существующие подходы для анализа распределения агрегатов по размеру

остаются несовершенными. Показатели, предлагаемые в настоящее время для интерпретации результатов структурного состояния почв, были рассмотрены Н.Б Хитровым и О.А. Чечуевой [1994], представлены нами в Приложении 3.

Обычно физическую деградацию оценивают по содержанию агрономически полезной структуры, её водоустойчивости и равновесной плотности сложения. В качестве дополнительных показателей рекомендуется использовать гранулометрический состав, основные почвенно-гидрологические константы, глубину залегания грунтовой воды и температуру почвы.

Степень деградации определяется по отклонению любого из перечисленных показателей от начального или эталонного значения [Медведев, 2013].

Под степенью деградации почв и земель в целом понимается характеристика их состояния, отражающая ухудшение качества их состава и свойств. В данном случае, крайней степенью деградации является уничтожение почвенного покрова.

Степень деградации почв для каждого вида деградации подразделяется на пять уровней и измеряется в баллах. Уровни деградации почв и земель представлены в таблице 1.3.

*Таблица 1.3*

Уровни деградации почв и земель [Медведев, 2013]

Уровень деградации почв	Степень деградации
0	Условно нулевая (почва не нарушена)
1	Низкая (почва нарушена, но возможно ее самовосстановление при существующем уровне нагрузки)
2	Средняя (почва нарушена, ее самовосстановление возможно при снижении существующего уровня нагрузки)
3	Высокая (почва сильно нарушена, ее самовосстановление невозможно)
4	Чрезвычайно высокая (почва необратимо нарушена, ее восстановление невозможно)

В 2008 году Министерство сельского хозяйства выпустило книгу под названием «Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России» [2008]. В качестве показателей для измерения деградации структуры предлагается использовать содержание глыбистой фракции и содержание агрегатов агрономически ценного размера 10-0,25 мм. Оценка деградации по данным параметрам представлена в таблице 1.4.

*Таблица 1.4*

Оценка степени деградации пахотного слоя почв по физическим свойствам

Физические свойства	Реальные значения	Недеградированные	Степень деградации		
			слабая	средняя	Сильная
Содержание глыбистой фракции, %	10-65	<30	30-40	40-50	>50
Содержание агрегатов агрономически ценного размера, 10-0,25 мм, %	30-85	>70	60-70	50-60	<50

Среди типичных, выщелоченных и обыкновенных мощных черноземов преобладают недеградированные и слабодеградированные по физическим свойствам почвы (75-80% площади этих подтипов). Средняя степень деградации характерна для эродированных почв и почв с высоким насыщением севооборотов пропашными культурами. Площадь таких почв составляет 20-25%. Среди черноземов обыкновенных и южных маломощных и малогумусных до 50% составляют почвы средней и сильной степени деградации.

В 2015 году Минсельхоз опубликовал издание под названием «Методы оценки степени деградации сельскохозяйственных земель» [2015]. В работе был представлен перечень показателей, предлагаемый для оценки физической деградации почв. Основными



являются показатели увеличения равновесной плотности сложения в горизонте  $A_{\text{пах}}$  и уменьшение мощности совокупности горизонтов  $A+B$ . Данные параметры измеряются в процентах от исходного значения.

Украинский опыт разработки оценки степени деградации почв представлен трудами В.В. Медведева. Так как на большей части территории Украины, также как в Белгородской области, господствуют черноземы, многие данные будут справедливы и для рассматриваемой нами почвы. В своей работе «Физическая деградация черноземов» [2013] В.В. Медведев предлагает использовать в качестве основных показателей для оценки степени деградации почв следующие: содержание воздушно-сухих агрегатов размером 10-0,25 мм и содержание водоустойчивых агрегатов более 0,25 мм. Процентное соотношение данных параметров показано в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Оценка степени деградации черноземов по показателям структурности

Показатель	Степень деградации				
	отсутствует	слабая	умеренная	сильная	катастрофическая
Структурный состав (содержание воздушно-сухих агрегатов размером 10-0,25 мм), уменьшение*	<15	15-25	26-35	36-45	>45
Агрегатный состав (содержание водоустойчивых агрегатов более 0,25 мм), уменьшение*	<10	10-20	21-30	31-40	>40

\*по отношению к исходному уровню, %

Выявление и оценка степени деградации почв конкретных объектов – очень ответственный и трудоёмкий процесс, к которому привлекаются многие специалисты, осуществляющие сбор, обработку, анализ необходимой информации и, что не менее важно, выполняющих все почвенные изыскания и анализы отбираемых образцов

Оценить степень деградации почвы достаточно сложно. Разные подходы к оценке дают разные результаты степени деградации. Даже в пределах одной системы оценивания могут возникать различия. Например, по предложенным В.В. Медведевым [2013] показателям почва может попасть в две совершенно разные категории: от условно нулевой степени деградации к высокой. Такая ситуация становится возможной ввиду отсутствия единой официальной системы оценки. Для устранения неточностей требуется разработка единого образца классификационной шкалы оценки, которая должна быть составлена максимально детально с учётом предлагаемых вариантов и существующей почвенно-экологической обстановки.

#### **1.4. Коэффициент уязвимости структуры**

В литературе нами был встречен такой показатель как коэффициент уязвимости структуры. Он был использован некоторыми авторами для характеристики угрозы разрушения суммы отдельных фракций почвенной структуры водой [Когут с соавт., 2012, Rohořková, Valla, 2004]. При этом М. Rohořková, М. Valla [2004] анализируют фракцию 5-2 мм, а Б.М. Когут с соавторами [2012] – фракцию 3-1 мм.

В статье [Rohořková, Valla, 2004] «Comparison of two methods for aggregate stability measurement – a review» рассматривается сравнение метода мокрого просеивания, предложенного Ле Виссони и применение коэффициента уязвимости структуры почв.

Метод, предложенный Ле Виссони (1996) составлен на основе трёх тестов, которые позволяют измерить механизм частичного разрушения (денудации) агрегатов. Данный метод позволяет отследить сохранение состояния агрегатов при подверженности их давлению (например, обработка почв, процессы взбухания и усадки почвы, кинетическая энергия от падения капель дождя и др.).

При анализе данных по проведенному сравнению в каждом тесте была отмечена схожесть показателей коэффициента уязвимости структуры и коэффициента водопрочности. Корреляция коэффициентов находилась в диапазоне от -0,7 до -0,8.

В статье «Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании» Б.М. Когут с соавторами [2012] рассчитал коэффициент уязвимости структуры для фракции 3-1 мм. По результатам анализов агрегаты данной фракции представляют наибольший интерес с точки зрения связи между структурой почвы и содержанием органического вещества почв.

Так как этот показатель рассчитывается достаточно просто, мы применили его для обобщенной характеристики структуры почвы [Новых, Хачатрян, Пелехоце, 2017]. Для его расчёта необходимо знать средневзвешенный диаметр агрегатов и средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов, которые характеризуют распределение агрегатов по размерам одним параметром. Формула для расчёта имеет следующий вид:

$$K_{y.} = \frac{СВД}{СВДв}, \quad (1.1)$$

Увеличение коэффициента уязвимости структуры свидетельствует об ухудшении качества структуры. Данный параметр отличается высокой степенью наглядности и простотой расчёта.

## 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Общая характеристика участка «Ямская степь»

Заповедник "Белогорье" – одна из самых маленьких особо охраняемых природных территорий России. Образован он в 1999 году на базе существовавшего с 1924 года заповедника "Лес на Ворскле". Целью создания заповедника стало сохранение и изучение типичных и уникальных экосистем мелового юга Среднерусской возвышенности. Заповедник «Белогорье» состоит из 5 участков (кластеров): «Лес на Ворскле», «Лысые горы», «Острасьевы яры», «Стенки-Изгорья» и «Ямская степь» (рис. 2.1).

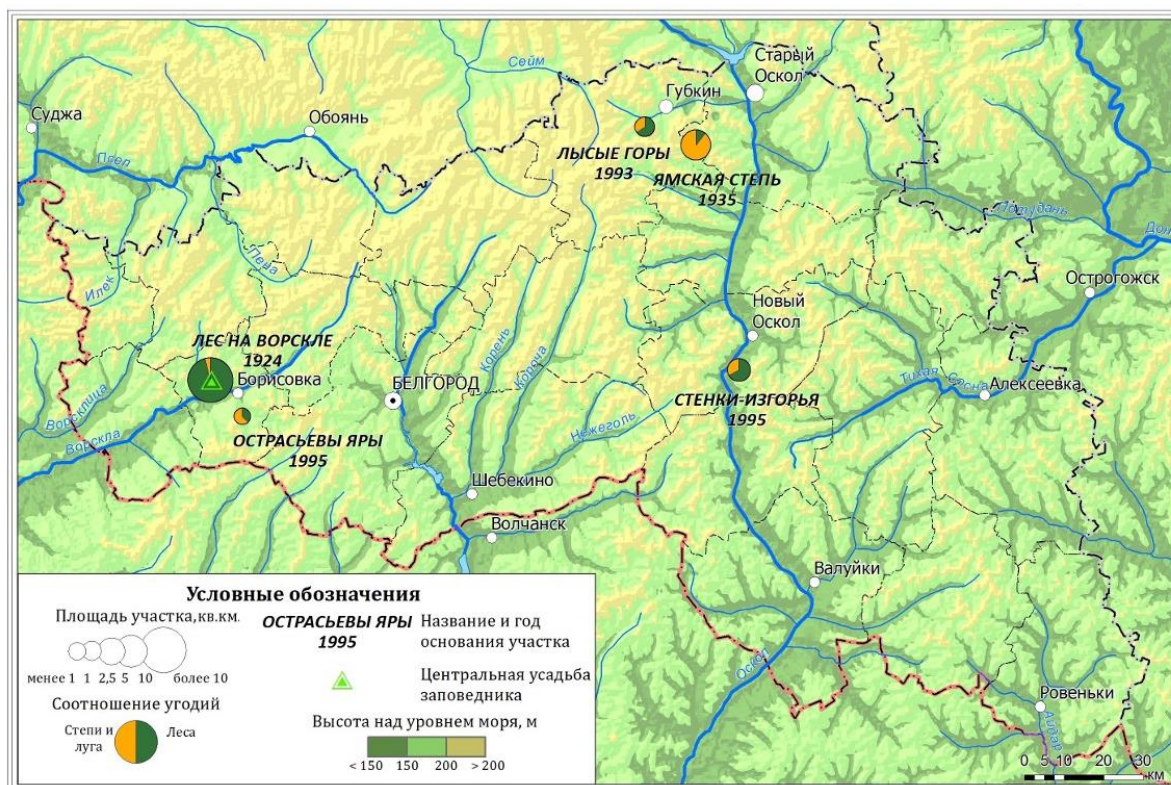


Рис. 2.1. Размещение участков заповедника «Белогорье» [Заповедник «Белогорье», 2012]

Территория участка "Ямская степь" расположена в зоне лесостепи в северной – северо-восточной части Белгородской области. В 12 км к северо-западу от участка находится административный центр Губкинского

района – г. Губкин. Участок луговой степи площадью 566 га приурочен к водоразделу небольших рек Чуфички и Дубенки, принадлежащих бассейну р.Оскол. Фрагмент участка некосимой степи кластера «Ямская степь» показан на рисунке 2.2.



Рис. 2.2. Заповедник «Белогорье», кластер «Ямская степь» [Заповедник «Белогорье», 2012]

Изучение участка началось с работ В.Ф. Капелькина, Д.М. Рождественского, В.В. Алехина. Именно они создали фундамент для дальнейших детальных работ по данному участку. Геоботаническое картирование участка проводилось дважды: в 1978-1979 гг. и в 2001-2003 гг.

Рельеф территории имеет широкий спектр форм. В 2007 году Ю.Г. Пузаченко с соавторами выделили в пределах участка 6 типов рельефа, которые были упорядочены по ландшафтными урочищам. Также в рельефе выделены четко выраженные местные водоразделы,

представленные плосковершинными водораздельными поверхностями, иногда с седловинами.

По данным карты «Экзогенные геологические процессы» (рис. 2.3) территория участка относится к Соснинско-Оскольскому геоморфологическому району, Верхнеоскольскому подрайону. На территории участка доминирующими экзогенными геологическими процессами являются эрозионные процессы. Водная эрозия приводит к формированию и увеличению оврагов и промоин.

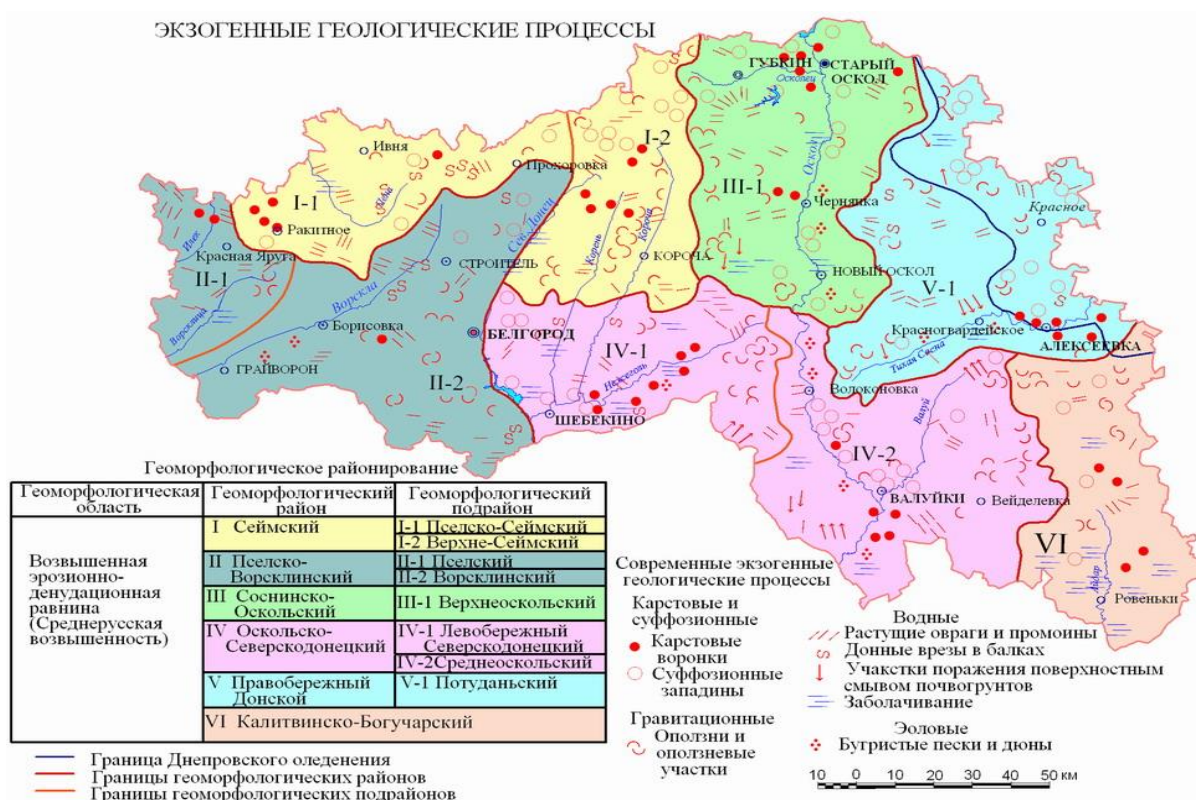


Рис. 2.3. Карта экзогенных геологических процессов Белгородской области [Атлас, 2004, С. 32]

Почвы участка Ямская степь представляют особую ценность. По запасам питательных веществ местные черноземы не имеют себе равных в Европе. Под степями толщина гумусового слоя достигает 1 м и даже более [Русаков, 2012]. Некоторые типы почв данного участка занесены в Красную книгу почв Белгородской области [2007] в категорию «Редкие почвы», подкатеорию «Редкие почвы для территории России».

Первые исследования растительного мира были осуществлены профессором Московского университета В. В. Алехиным. Растительный мир участка представлен южным вариантом ковыльно-разнотравно-луговой степи. Флора Ямской степи включает более 170 видов низших растений и 685 видов высших растений, 10 из них включены в Красную книгу России [2018], 59 видов – в Красную книгу Белгородской области [2018].

Наиболее характерными видами растений плакорной Ямской степи по основным хозяйственно-ботаническим группам являются семейства злаковых, осоковых, бобовых, разнотравье, лесные островки.

Животный мир представлен 10 видами земноводных и пресмыкающихся, 120 видами птиц, 10 из которых занесены в Красную книгу РФ, 800 видами насекомых [Алтухова, Солнышкина, 2012].

Ямская степь, как уникальный природный участок, подлежит самой строгой охране, в том числе необходимо соблюдение исторически сложившихся сенокосооборотных режимов (после четырех лет кошения – год некошения) на большей части плакорных степей.

## **2.2. Объекты исследования**

Объектами исследования стали образцы генетических горизонтов целинного и пахотного черноземов. В 2016 году для VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева на территории участка «Ямская степь» были заложены два разреза – целинный чернозём (разрез 1) и на пашне, вблизи границы заповедника, пахотный чернозём (разрез 2). Размещение почвенных разрезов представлено на схеме землепользования участка «Ямская степь» заповедника «Белогорье» (рис. 2.4). Отбор проб проводился в трехкратной повторности через каждые 10 см до глубины 60 см и далее, до глубины 200 см, через каждые 20 см.

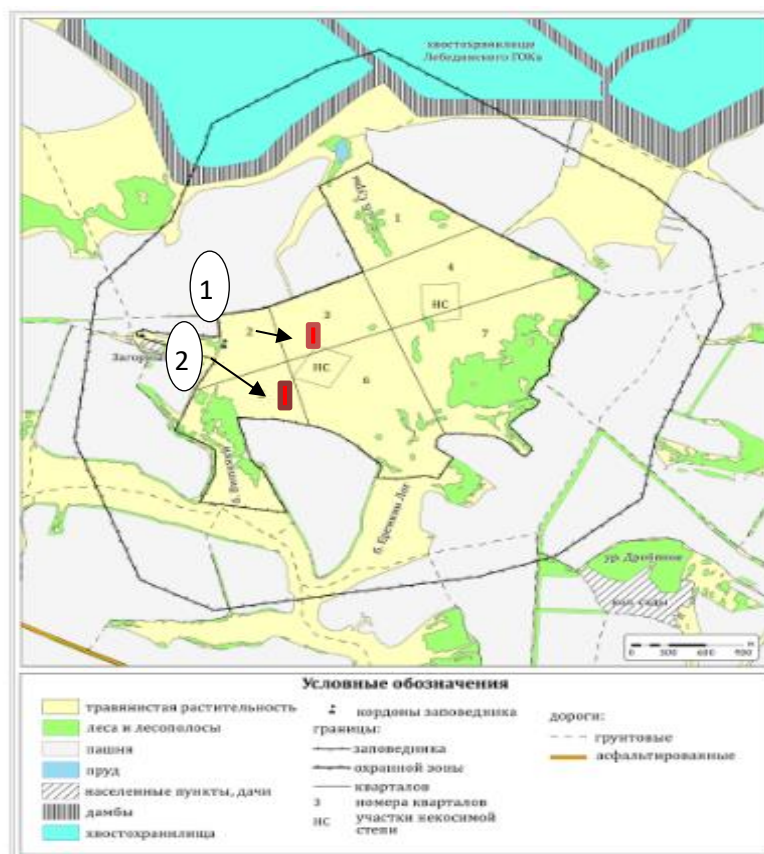


Рис. 2.4. Схема землепользования участка «Ямская степь» и размещение почвенных разрезов (Топографическая основа заимствована из [Заповедник «Белогорье», 2012])

Для экскурсий Съезда был выпущен Путеводитель научных полевых экскурсий [2016], в котором содержатся сведения о географическом положении, факторах и процессах почвообразования, морфологических и других признаках почв. Основными объектами полевых экскурсий стали почвы кластеров заповедника «Белогорье», почвы «Каменной степи», а также почвы карьеров и балок.

В качестве эталона для экспериментального исследования был выбран чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке (рис. 2.5). Определение названия производилось в соответствии с Классификацией и диагностикой почв СССР [1977]. Данная почва включена в Красную книгу почв Белгородской области [Соловиченко, Лукин, 2007] в качестве редкой для территории России. Мощность



гумусового горизонта составляет 98 см. Отличается высоким содержанием органического вещества – 10,1% в слое 10-20 см.



Рис. 2.5. Целинный чернозём, разрез 1 (Фото Новых Л.Л.)

Разрез 1 заложен на границе 2 и 6 кварталов кластера «Ямская степь» на косимом участке целинной степи. Координаты разреза: 51°11'25.98" с.ш., 37°37'31.03" в.д. Рельеф представлен выровненной поверхностью местного водораздела. Абсолютная высота – 230 м (одна из максимальных отметок в пределах Ямской степи). Мезорельеф участка выражен плакором. Растительность представлена кощерецово-разнотравной луговой степью с доминированием мезоксерофитного разнотравья. Участок отличается высокой видовой насыщенностью (в среднем 28 видов растений на 0,25 м<sup>2</sup>).

Почвообразующие породы, на которых сформирован чернозем – мощные карбонатные лессовидные суглинки. Данная почвообразующая порода является доминирующей на территории всего участка и занимает около 75-80% «Ямской степи» [Русаков, 2012]. Глубина залегания грунтовых вод – более 15 м. Ниже приводится подробное описание профиля целинного чернозема (табл. 2.1.).

Характеристика профиля целинного чернозема, разрез 1

Горизонт	Мощность, см	Описание
<b>Ad</b>	0 – 15	Влажноватый, темно-серый, тяжелосуглинистый, комковато-мелкозернистый, уплотненный. Многочисленные корни, копролиты. Единичные отбеленные кварцевые зерна. Переход заметный по корням, постепенный по структуре и плотности, граница ровная. Слабое вскипание.
<b>A</b>	15 – 75	Влажноватый, темно-серый, тяжелосуглинистый, комковато-зернистый, порошистый, твердый (более плотный по сравнению с вышележащим горизонтом), многочисленные корни. Локально присутствуют зерна кварца. Переход постепенный по структуре и окраске. Граница волнистая. Твердый. Не вскипает.
<b>AB</b>	75 – 85	Влажноватый, буровато-серый, тяжелосуглинистый, мелко-призматический, крупно-комковатый, плотный. Немногочисленные корни. Переход постепенный по окраске и твердости. Не вскипает.
<b>B</b>	85 – 110	Влажноватый, неоднородно окрашен (на серовато-палевом фоне палевые и темно-серые пятна) тяжелосуглинистый, призматично-мелкопризматический, очень твердый. Немногочисленные корни. Встречаются прямые и обратные кротовины. Переход резкий по окраске, граница волнистая. Вскипание неоднородное: в общей массе не вскипает, в обратных кротовинах – вскипание бурное.
<b>BCca</b>	110–180	Влажный, желтовато-палевый, тяжелосуглинистый, мелко-плитчатый, тонко-пористый, очень плотный. Обилие новообразований карбонатов в виде псевдомицелия или кальцетан по границам педов. Встречаются немногочисленные разновозрастные прямые кротовины. Переход постепенный по исчезновению кротовин. Вскипание бурное.
<b>Cca</b>	180–200	Влажный, палевый, тяжелосуглинистый, крупнопризматически-плитчатый, твердый, тонкопористый. Карбонатные новообразования менее обильны в форме кальцетан и карбонатного псевдомицелия. Вскипание бурное

В соответствии с [Классификация и диагностика почв СССР, 1977] почва называется чернозем типичный умеренно промерзающий мощный глубоковскипающий тяжелосуглинистый на карбонатных лессовидных суглинках.

Разрез пахотного чернозема приурочен к обрабатываемому массиву, расположенному непосредственно по границе со вторым кварталом участка «Ямская степь» (рис. 2.6.). Координаты разреза: 51°19'20.8" с.ш.; 37°62'60.1" в.д. Рельеф участка представлен выровненной поверхностью местного водораздела. Мезорельеф: очень пологий (~1°) склон восточной экспозиции [Путеводитель, 2016].



Рис. 2.6. Пахотный чернозём, разрез 2 (Фото Новых Л.Л.)

Почвообразующие породы, на которых сформирован чернозем – мощные карбонатные лессовидные суглинки. Глубина залегания грунтовых вод – более 15 метров. Возраст распашки пашни составляет около 150 лет.

Ниже приводится детальное описание почвенного профиля разреза пахотного чернозема (табл. 2.2.).

## Характеристика профиля пахотного чернозема, разрез 2

Горизонт	Мощность, см	Описание
<b>Ар</b>	0–15	Сухой, темно-серый, тяжелосуглинистый, мелкоглыбисто плитчатый, твердый. Биоморфы, эдафон – многочисленные корни. На поверхности слабое вскипание. Переход заметный по структуре и твердости.
<b>Арр</b>	15–38	Сухой, темно-серый, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый, очень твердый. Немногочисленные корни. Переход ясный по окраске и характеру вскипания. Не вскипает.
<b>АВ</b>	38–60	Сухой, окрас неоднородный – на буровато-сером фоне многочисленные палевые пятна, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый, твердый. Редкие корни. Вскипание неоднородное – в общей массе нет, по кротовинам бурное. Карбонатные новообразования в кротовинах, псевдомицелий. Граница волнистая.
<b>Вса</b>	60–98	Сухой, смесь желто-палевого и серого цветов, тяжелосуглинистый, комковатопризматический, очень твердый. Очень многочисленные прямые и обратные кротовины черного и палевого цветов. Редкие корни. Карбонатные новообразования в форме налетов по границам структурных отдельностей. Переход резкий по окраске. Вскипание бурное.
<b>ВСаа</b>	98–180	Влажноватый, неоднородно окрашен: на желто-палевом фоне серые и темно-серые пятна кротовин и белые налеты карбонатов на подсохших участках, тяжелосуглинистый, непрочно-призматически плитчатый, очень твердый, пористый. Переход заметный по исчезновению кротовин, граница ровная. Вскипание бурное.
<b>Саа</b>	180–200	Влажноватый, желто-палевый, тяжелосуглинистый, плитчатый, плотный твердый. Карбонатные новообразования в виде плесени. Вскипание бурное.

Согласно [Классификация и диагностика почв СССР, 1977] почва называется чернозем типичный пахотный умеренно промерзающий тяжелосуглинистый среднемошный карбонатный на карбонатных лессовидных суглинках

### 2.3. Методы и методики исследования

При выполнении выпускной квалификационной работы использовались следующие основные методы исследования: научно-поисковый, картографический, измерения, математико-статистический, сравнительный анализ. Определение структурно-агрегатного состава почвы и водопрочности почвенных агрегатов проводилось в соответствии с методикой Н.И. Саввинова [Вадюнина, Корчагина, 1986]. На рисунке 2.7 представлены результаты рассева образца по ситам.



Рис. 2.7. Фрагмент определения структурно-агрегатного-состава почвы

Данный способ определения нередко называют ситовым анализом или «сухим» просеиванием. Взвешивание фракций проводилось на лабораторных весах ВЛТЗ-1100.

Для оценки результатов «сухого» просеивания мы рассчитали коэффициент структурности ( $K_{стр}$ ):

$$K_{стр.} = \frac{АЦФ}{\Sigma(>10+<0.25)} \quad (2.1)$$

где числитель – сумма процентного содержания агрономически ценных фракций, а знаменатель – сумма процентного содержания глыб и пыли [Шеин, 2005]. Оценка агрегатного состояния структуры показана в разделе 1 (см. табл. 1.1).

Зачастую, для более полной характеристики агрегатного состава почвы выполняют «мокрое» просеивание по методике Н.И. Саввинова [Вадюнина, Корчагина, 1986]. Стандартный набор сит для этого анализа включает в себя сита с диаметрами отверстий (в мм): 5, 3, 2, 1, 0,5, 0,25. Для определения водопрочности фракции 5-2 мм мы использовали сита с диаметрами отверстий (в мм): 3, 2, 1, 0,5, 0,25. Определение водопрочности структуры для фракции 3-1 мм проходило при использовании сит с диаметрами отверстий (в мм): 2, 1, 0,5, 0,25. На рисунке 2.8 представлен фрагмент выполнения «мокрого» просеивания.



Рис. 2.8. Фрагмент определения водопрочности структуры

Оценка водопрочности структуры проводилась по содержанию водопрочных агрегатов размером  $>0,25$  мм. Данные по оценке водопрочных агрегатов представлены в таблице 1.2.

Использовался также коэффициент водопрочности структуры, формула для его расчета которого выглядит следующим образом:

$$K_g = \frac{АЦФМ}{АЦФс} \times 100\%, \quad (2.2)$$

где числитель – процентное содержание фракций  $>0.25$  мм при мокром просеивании, а знаменатель – при сухом [Шеин, Гончаров, 2006].

Нередко требуется использовать данные ситового анализа в виде одного единственного показателя, а не в виде распределения агрегатов по фракциям. Так как распределение агрегатов по фракциям – это распределение, которое трудно описать единой математической зависимостью, используют следующие показатели в виде средневзвешенного диаметра агрегатов (СВД):

$$СВД = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i M_i, \quad (2.3)$$

где  $M_i$  – весовой % фракции агрегатов со средним диаметром  $\bar{x}_i$ ,  $n$  – количество фракций. Чем выше СВД, тем в большей мере в структуре выражены крупные фракции, чем ниже – тем в большей мере пылевата структура [Шеин, Гончаров, 2006]. Аналогичная формула используется для расчёта средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов (СВДв).

Оценка типов распределения показателей в почвенном профиле проводилась по графикам, представленным в книге «Морфология почв» [Розанов, 1983]

При математико-статистической обработке данных были использованы следующие показатели: среднее значение, коэффициент варьирования, корреляции, детерминации и достоверности [Дмитриев, 1995]. В таблице 2.3 представлена градация значений корреляционной связи.

## Оценка коэффициента корреляции

Значение	Теснота корреляционной связи
$>0,85$	Весьма тесная
$\leq 0,85$	Тесная
$\leq 0,7$	Слабая
$\leq 0,3$	Очень слабая
$\leq 0,1$	Практически отсутствует

Была проведена оценка значимости между средними по критерию наименьшей существенной разности (НСР). Все статистические расчеты производились с помощью программы Microsoft Excel.



### **3. СОСТОЯНИЕ СТРУКТУРЫ ИССЛЕДУЕМЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ И СТЕПЕНЬ ИХ ДЕГРАДАЦИИ**

#### **3.1. Оценка степени деградации структуры пахотного чернозема**

В подразделе 1.3 приводились различные подходы к оценке качества структуры почв (см. табл. 1.1, 1.2). Рассматриваемые оценки мы применили для исследуемых почв. Качество структурного состояния оценивалось по содержанию агрономически ценных агрегатов от 10 до 0,25 мм по шкале, предложенной И.С. Кауричевым и современной упрощенной оценке, предлагаемой Корчагиным и др. Качество агрегатного состояния оценивалось также по содержанию водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм.

Выбранные объекты исследования развивались в схожих условиях и располагаются неподалеку друг от друга. Однако открытым остается вопрос возможности использования целинного чернозема в качестве отправной точки. Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть исходные параметры качества структуры целины и провести сравнение с соответствующими параметрами обрабатываемого чернозема. Ввиду различий в эксплуатации угодий, особый интерес для сравнения представляют необрабатываемые горизонты пахотных почв и соответствующие им горизонты чернозема, рассматриваемого в качестве эталона, чтобы избежать влияния литологической неоднородности на структурно-агрегатный состав почв.

Оценка структурного состояния почвы зависит от выбранного подхода. Наглядным примером тому служит таблица 3.1. Качество структуры может быть оценено как хорошее или отличное, а водопрочность, наоборот, являться недостаточной (горизонты Ad и A). Также имеет место быть обратная ситуация – по содержанию АЦФ структура оценивается как плохая и неудовлетворительная, а по содержанию водопрочных агрегатов как хорошая (горизонт BСsa).

Таблица 3.1

## Оценка качества структуры целинного и пахотного чернозема

Угодье	Горизонт	Содержание агрономически ценных агрегатов размером от 10 до 0,25 мм				Содержание водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм, %	
		По И.С. Кауричеву Практикум., 1980]		По А.А. Корчагину и др. [2011]		Масса, %	Оценка
		Масса, %	Оценка	Масса, %	Оценка		
Целина	Ad	65,3	Хорошая	65,3	Отличная	23,7	Недостаточно удовлетворительная
	A	65,3	Хорошая	65,3	Отличная	27,5	Недостаточно удовлетворительная
	AB	54,6	Удовлетворительная	54,6	Хорошая	36,4	Удовлетворительная
	B	52,0	Удовлетворительная	52,0	Хорошая	39,9	Удовлетворительная
	BCca	52,9	Удовлетворительная	52,9	Хорошая	51,2	Хорошая
	Cca	53,5	Удовлетворительная	53,5	Хорошая	71,1	Отличная
	Профиль в целом	59,5	Удовлетворительная	59,5	Хорошая	61,4	Отличная
Пашня	Ap	43,5	Удовлетворительная	43,5	Хорошая	33,6	Удовлетворительная
	App	58,5	Удовлетворительная	58,5	Хорошая	31,1	Удовлетворительная
	AB	47,5	Удовлетворительная	47,5	Хорошая	28,6	Недостаточно удовлетворительная
	Bca	20,1	Неудовлетворительная	20,1	Неудовлетворительная	33,4	Удовлетворительная
	BCca	16,5	Плохая	16,5	Неудовлетворительная	54,4	Хорошая
	Cca	52,6	Удовлетворительная	52,6	Хорошая	79,3	Избыточно высокая
	Профиль в целом	34,6	Неудовлетворительная	34,6	Неудовлетворительная	58,0	Хорошая

Результаты оценки качества структуры исследуемых черноземов представлены в таблице 3.1. Сравнение результатов для горизонтов В, ВС и С показало, что обе почвы имеют один порядок цифр. Таким образом, мы можем предположить, что целинный чернозем подходит в качестве эталона для установления тенденций изменения структуры в пахотном черноземе.

Мы сравнили степень деградации горизонтов пахотного чернозема, испытывающих на себе максимальное антропогенное воздействие (Ap, App, AB) и соответствующие им горизонты в целинном черноземе (Ad, A, AB). Оценка структурного и агрегатного состояния структуры проводилась для фракции 10-0,25 мм. Оценка результатов проводилась в соответствии с данными таблиц 1.4 и 1.5. Результаты расчетов представлены в таблице 3.2.

В таблице 1.4 даны абсолютные значения для оценки уровня деградации. Мы проследили изменение уровня содержания агрегатов агрономически ценного размера и содержание глыбистой фракции. Результаты наглядно показывают деградацию структуры в обрабатываемых горизонтах пахотного чернозема. Увеличение содержания глыб свидетельствуют об ухудшении структуры. Особый интерес представляет горизонт Ap, который изменился от уровня горизонта Ad на два порядка (от слабой степени деградации к сильной) по содержанию АЦФ и на три порядка по содержанию глыбистой фракции (от недеградированной к сильно деградированной).

В то же время по оценке В.В. Медведева, пахотный чернозем в обрабатываемых горизонтах нельзя назвать деградированным. По данным таблицы 3.2 содержание водопрочных агрегатов в пахотном и подпахотном горизонтах увеличилось по отношению к эталону. Автор не рассматривает варианта увеличения параметра, что может стать причиной ошибочной оценки деградации структуры.

Таблица 3.2

## Оценка степени деградации пахотного чернозема

Угодье	Горизонт	Содержание глыбистой фракции [Проблемы..., 2008]		Содержание агрегатов агрономически ценного размера, 10-0,25 мм, % [Проблемы..., 2008]		Структурный состав (содержание воздушно-сухих агрегатов размером 10-0,25 мм), уменьшение в % от исходного [Медведев, 2013]		Агрегатный состав (содержание водоустойчивых агрегатов более 0,25 мм), уменьшение в процентах от исходного [Медведев, 2013]	
		Содержание, %	Степень деградации	Содержание, %	Степень деградации	Содержание, %	Степень деградации	Содержание, %	Степень деградации
Целина	Ad	29,1	Недеградированная	65,25	Слабая	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
	A	30,9	Слабая	65,27	Слабая	—  —	—  —	—  —	—  —
	AB	38,8	Средняя	54,63	Средняя	—  —	—  —	—  —	—  —
Пашня	Ap	51,8	Сильная	43,5	Сильная	33,0	Умеренная	-41,5	Условно нулевая
	App	36,5	Слабая	58,47	Средняя	10,4	Условно нулевая	-12,8	Условно нулевая
	AB	46,5	Средняя	47,46	Сильная	13,1	Условно нулевая	21,4	Слабая

В горизонте АВ содержание водопрочных агрегатов уменьшилось на 21,4 %. В таком случае степень деградации горизонта определена как слабая. Среднее содержание данного показателя в почвенном профиле для эталонного варианта чернозема составляет 61,4 %. Уменьшение параметра на 5 % (см. табл. 3.1) от исходного позволяет оценить деградацию агрегатного состояния структуры как условно нулевую.

Подводя итоги следует отметить, что присвоение оценки исследуемой почве вызвало затруднение ввиду дифференциации полученных результатов. Диапазон оценок варьирует в обрабатываемых горизонтах пахотного чернозема от условно нулевой степени деградации до сильной. Даже в пределах одной системы качество каждого отдельного горизонта может отличаться от почвенного профиля в целом. Такая ситуация может стать причиной ошибочной оценки качества почвенной структуры.

### **3.2. Изменение средневзвешенного диаметра агрегатов при распашке черноземов**

Для анализа изменения средневзвешенного диаметра при распашке чернозёмов, мы рассчитали максимальное, минимальное и среднее значение показателя, а также оценили тип распределения вещества в почвенном профиле при построении соответствующих графиков. Расчеты выполнялись для всей совокупности фракций (от >10 мм до <0,25 мм).

Размах варьирования *СВД* составил: для целины – 4,2-8,8 мм (в среднем, 5,9 мм), для пашни – 4,9-10,7 мм (в среднем, 8,0 мм), что соответствует существующим представлениям об увеличении глыбистости пахотных почв. На рисунке 3.1 показано профильное распределение *СВД* агрегатов.

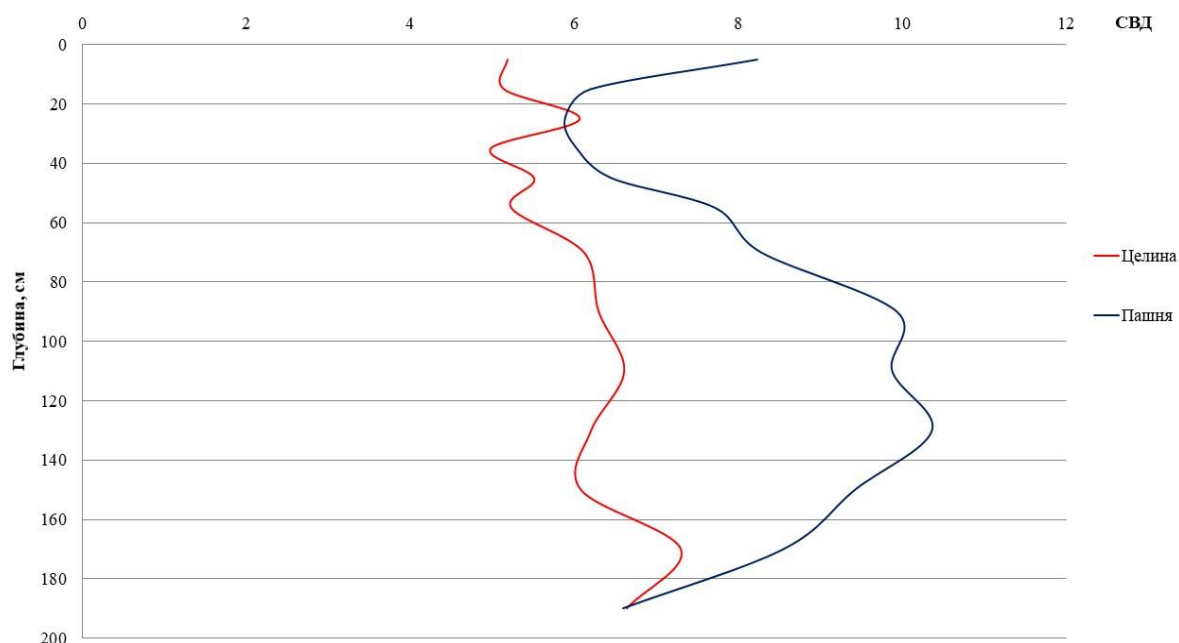


Рис. 3.1. Профильное распределение средневзвешенного диаметра агрегатов в исследуемых почвах

Практически по всему профилю показатель в пахотных почвах выше, чем в целинных. Так как наиболее ценной почвенной структурой является зернистая (от 5 до 0,25 мм), можно утверждать, что пахотная почва имеет низкое качество структуры за счет увеличения содержания крупных фракций.

Одним из факторов, влияющих на структуру, является содержание гумуса почве, поэтому мы рассчитали степень тесноты корреляционной связи между процентным содержанием *гумуса* и средневзвешенным диаметром агрегатов. Анализ показал, что в обоих случаях наблюдается обратная тесная связь, однако в пахотной почве данный параметр выше (коэффициент корреляции равен -0,84 и -0,89, соответственно). Таким образом, в целинной почве 71 % варьирования средневзвешенного диаметра агрегатов осуществляется за счет варьирования содержания гумуса. В пахотной почве этот показатель равен 79 %.

Другим немаловажным показателем, оказывающим влияние на СВД, является содержание карбонатов в почве. При определении тесноты корреляционной связи обнаружена слабая прямая связь, однако в пахотной почве коэффициент корреляции выше, чем в целинной (0,73 и 0,63, соответственно). Данные результаты свидетельствуют о том, что в целинной почве 40 % варьирования средневзвешенного диаметра агрегатов осуществляется за счет варьирования содержания  $\text{CaCO}_3$ , а в пахотной почве – 53 %. В таблице 3.3 представлены значения коэффициентов корреляции и детерминации для исследуемых связей. Оценка достоверности проводилась по стандартным таблицам [Дмитриев, 1995].

Таблица 3.3

Определение степени тесноты корреляционной связи

Угодье	Связь СВД и содержания гумуса		Связь СВД и содержания $\text{CaCO}_3$	
	r	D, %	r	D, %
Целина	-0,84 +	71	0,63 +	40
Пашня	-0,89 +	79	0,73 +	53

*Примечание:* r – коэффициент корреляции, D – коэффициент детерминации, + - коэффициент достоверности.

Анализ водопрочности структуры показал, что в целинном черноземе размах варьирования СВДв составил 0,2-2,2 мм (в среднем, 1,0 мм); в пахотной почве – 0,2-1,3 мм (в среднем, 0,8 мм). На рисунке 3.2 представлено профильное распределение СВДв. Его анализ показывает, что распределение СВДв в целинной почве соответствует регрессивно-аккумулятивному типу, а в пахотной – аккумулятивно-элювиально-иллювиальному типу.

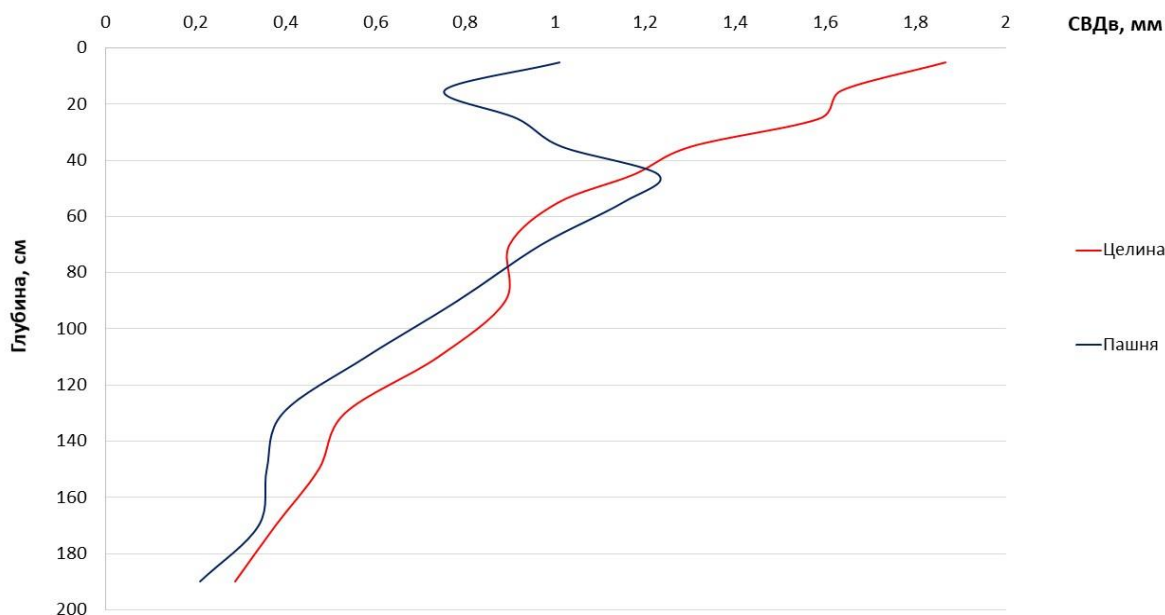


Рис. 3.2. Профильное распределение средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов

Обращает на себя внимание тот факт, что максимум параметра для целинной почвы отмечен в горизонте Ad на глубине 5 см, а в пахотной почве – в горизонте АВ на глубине 45-55 см. Таким образом, обрабатываемая почва имеет тенденцию к увеличению СВДв до глубины 55 см и уменьшению показателя к почвообразующей породе.

### 3.3. Тенденции изменения уязвимости структуры пахотных почв

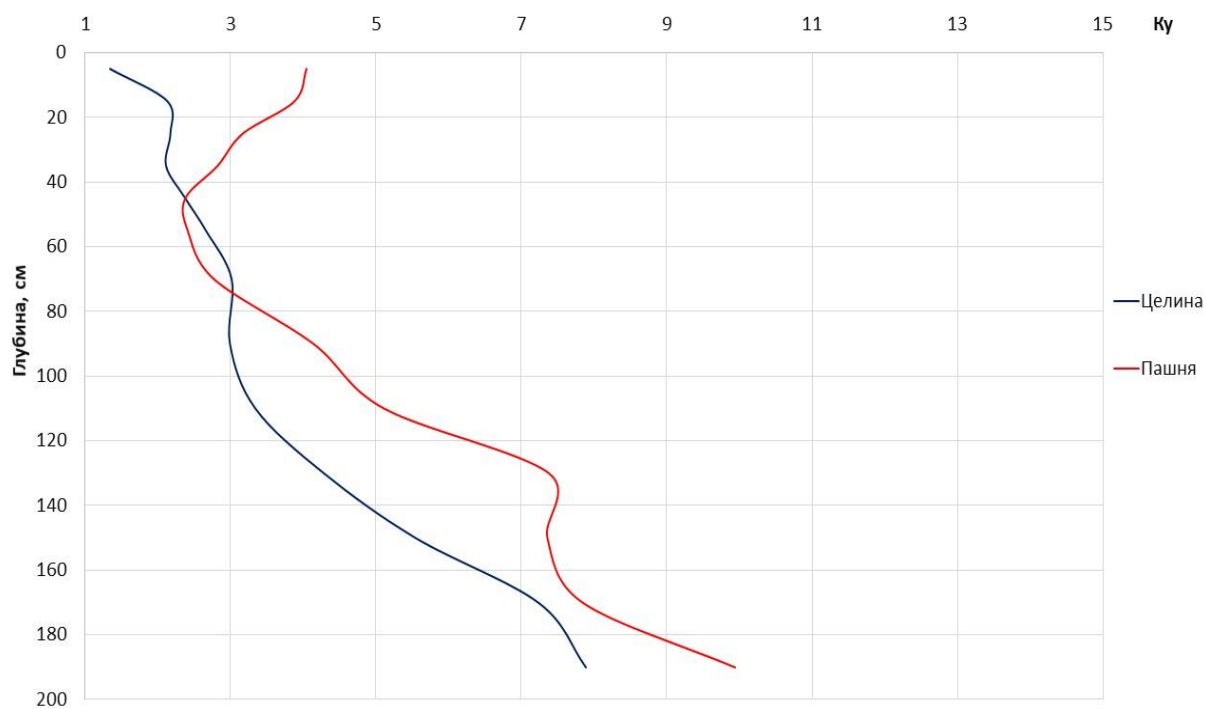
Обсуждение результатов по коэффициенту уязвимости структуры будет вестись с учетом различных подходов. Так, мы рассчитали данный параметр для фракций 5-2 мм, 3-1 мм, а также всей совокупности фракций. Для расчетов мы использовали формулу (1.1). Полученные результаты представлены в таблице 3.4.



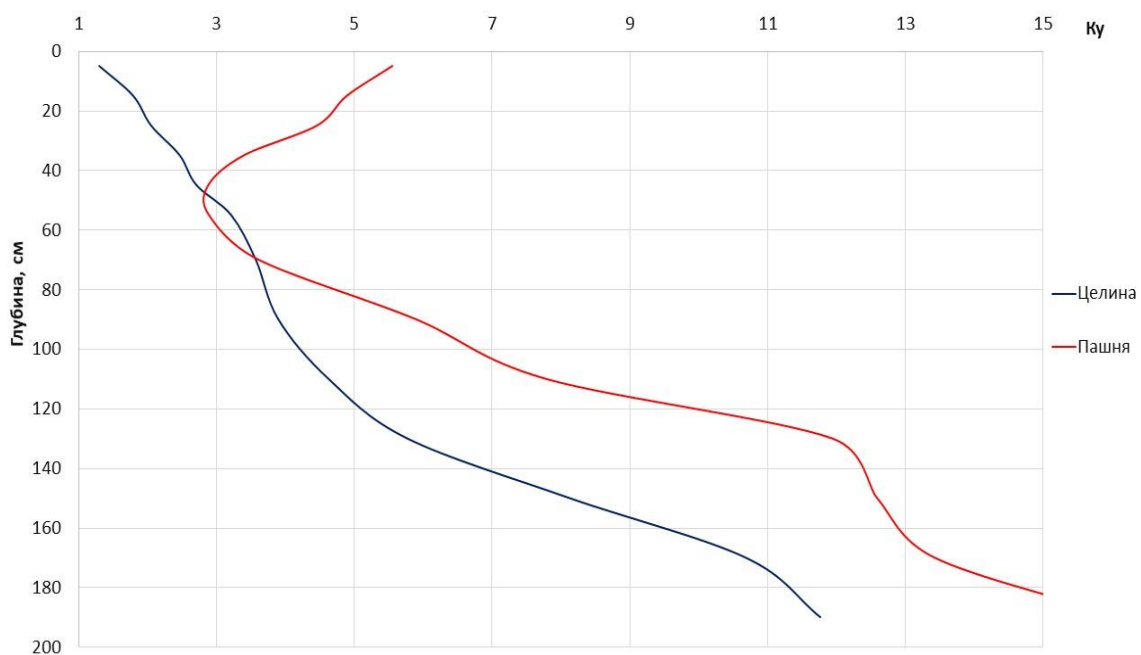
Статистические данные, характеризующие коэффициент уязвимости структуры для оцениваемых фракций

Ку	от >10 до <0,25 мм		5-2 мм		3-1 мм	
	Целина	Пашня	Целина	Пашня	Целина	Пашня
Ку max	24,14	38,10	12,58	16,96	9,02	10,45
Ку min	2,36	3,91	1,24	2,66	1,27	2,10
Ку ср.	8,80	15,41	4,77	7,34	3,62	4,86

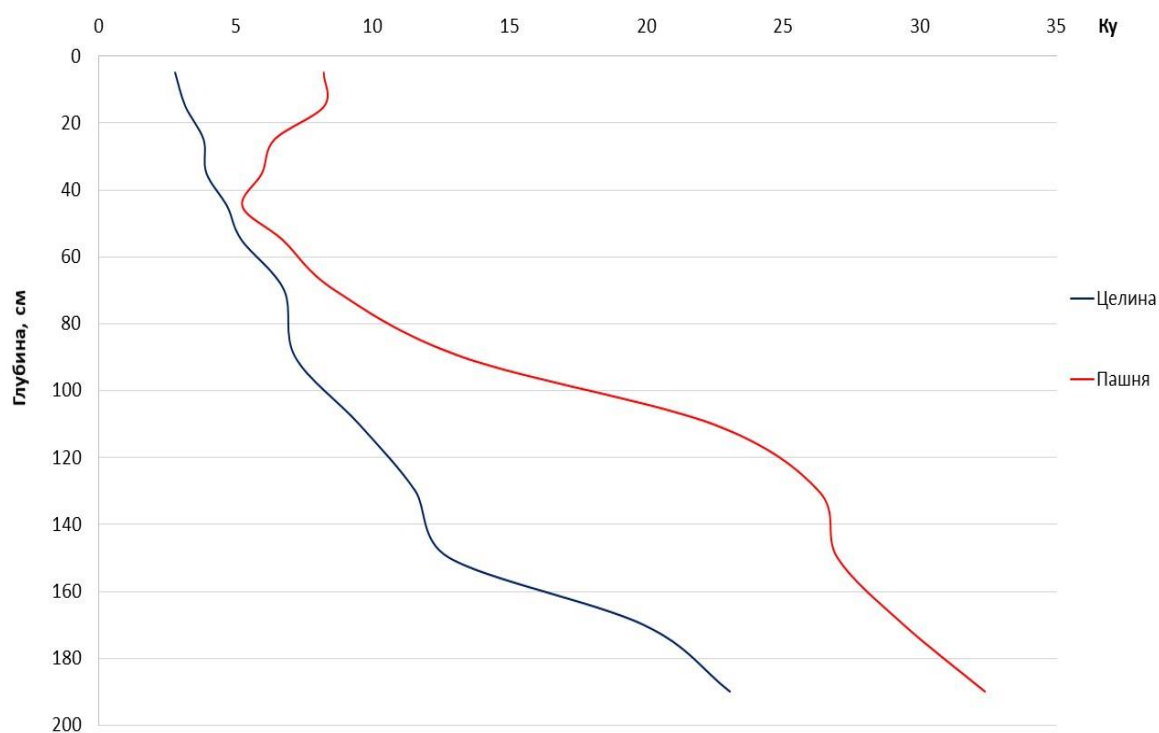
Минимальные значения коэффициента в целинном черноземе приходится на горизонт Ad (глубина 5 см), а в пахотном – на горизонт АВ (глубина 45-55 см). Максимум для обеих почв приходится на почвообразующие породы. Профильное распределение параметра в целинной и пахотной почвах представлено на рисунке 3.3.



А)



Б)



В)

Рис. 3.3. Распределение коэффициента уязвимости структуры в пахотной почве для фракции: А – 3-1 мм, Б – 5-2 мм В – от >10 до <0,25 мм

График распределения вещества в обрабатываемых горизонтах пахотного чернозема соответствует регрессивно-элювиальному типу, а в соответствующих ему горизонтах целинного чернозем – равномерно-элювиальному.

Очевидно, что коэффициент уязвимости структуры в пахотной почве выше, чем в целинной. График распределения параметра показывает, что обрабатываемый чернозем имеет низкое качество структуры за счет увеличения ее уязвимости.

Для установления тенденции к увеличению уязвимости структуры в пахотном черноземе мы сравнили средние значения целинной и обрабатываемой почвы. Анализ данных позволил высказать гипотезу о том, что уязвимость в пахотном черноземе выше, чем в целинном для всех исследуемых фракций. Для проверки данной гипотезы мы рассчитали достоверность различий между средними значениями коэффициента уязвимости структуры в целине и на пашне. Результаты расчетов для исследуемых фракций представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

## Оценка достоверности различий между средними

Фракция, мм	Угодье	n	хср.	s <sup>2</sup>	s	F	F табл.	v	Sx	Sd	НСР	d
от >10 до <0,25	Целина	39	8,80	40,85	6,39	2,91	1,7	67	1,02	2,02	4,04	6,61
	Пашня	39	15,41	118,96	10,91			67	1,75			
5-2	Целина	39	4,77	11,31	3,36	1,91	1,7	71	0,54	0,92	1,84	2,57
	Пашня	39	7,34	21,57	4,64			71	0,74			
3-1	Целина	39	3,62	4,17	2,04	1,52	1,7	76	0,33	0,52	1,04	1,24
	Пашня	39	4,86	6,35	2,52			76	0,40			

*Примечание:* где  $n$  – число исследуемых образцов,  $\bar{x}$  – среднее значение выборки,  $s^2$  – дисперсия,  $s$  – стандартное отклонение,  $F$  – критерий Фишера,  $F_{\text{табл.}}$  – табличное значение при вероятности ошибки 5%,  $\nu$  – число степеней свободы,  $S_x$  – ошибка среднего,  $S_d$  – ошибка разности, НСР – наименьшая существенная разность,  $d$  – фактическая разность средних.

При сравнении достоверности различий между средними выявлены следующие закономерности:

1. Для фракции 5-2 мм коэффициент варьирования находится в диапазоне от 63 до 71%, НСР = 1,8,  $d = 2,6$  и с вероятностью 95% можно утверждать, что уязвимость структуры пахотного чернозема выше, чем целинного

2. Для фракции 3-1 мм коэффициент варьирования находится в диапазоне от 52 до 56%, НСР = 1,04,  $d = 1,2$  и с вероятностью 95% можно утверждать, что уязвимость структуры пахотного чернозема выше, чем целинного.

3. Для фракции 10-0,25 мм выявлена существенная достоверность. Коэффициент варьирования равен 71-73% и с вероятностью 95% можно утверждать, что уязвимость структуры пахотного чернозема выше, чем целинного (НСР = 4,04;  $d = 6,61$ ).

Удобство расчетов и наглядность коэффициента уязвимости структуры позволяют предположить его для включения в общую оценку структурного состояния почв. Для оценки степени уязвимости структуры значения данного параметра мы предлагаем разделить на три группы:

1)  $K_u \leq 4$ , что свидетельствует об относительно высокой водопрочности структуры. Таких образцов во всей выборке встретилось 13%. Они характеризуют либо горизонт Ad и A для целинной почвы и Ap и App на пашне;

2)  $4 \leq K_u \leq 10$  – это преобладающие значения в анализируемой выборке – 47 % всех значений. Преобладают в горизонтах АВ, В, ВС, свидетельствуют о низкой водопрочности структуры;

3)  $K_u > 10$  – такие значения представлены в 40 % образцов, среди которых преобладают образцы почвообразующих пород. Такие высокие значения свидетельствуют об очень низкой водопрочности и, соответственно, высокой уязвимости структуры.

Таким образом, использование коэффициента уязвимости структуры позволило наглядно увидеть особенности трансформации структурно-агрегатного состояния чернозема при вовлечении его в распашку. Выполненные анализы позволили установить тенденцию к нарастанию коэффициента в обрабатываемом черноземе. Наглядность и простота расчета параметра позволяют расценивать его как перспективный показатель для дальнейших исследований почвенной структуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для написания выпускной квалификационной работы были рассмотрены показатели, используемые для оценки деградации структуры пахотных почв, определен структурно-агрегатный состав и водопрочность структуры исследуемых почв, проанализированы существующие подходы к оценке коэффициента уязвимости структуры и установлены тенденции изменения коэффициента уязвимости структуры в пахотных почвах. В ходе выполнения работы были получены следующие выводы:

1) Отсутствие единой системы оценки структурного состояния почв и степени их деградации не позволяет грамотно интерпретировать результаты лабораторных анализов.

2) Структура целинного чернозема изменяется от хорошей до удовлетворительной, пахотной – от удовлетворительной до плохой. Водопрочность целины изменяется от отличной до хорошей, а пашни от хорошей до удовлетворительной. В то же время степень деградации целинной почвы оценивается как слабая и средняя, а в пахотной почве как средняя и сильная.

3) В пахотном черноземе установлены тенденции к нарастанию коэффициента уязвимости структуры по сравнению с целинным вариантом.

Продолжение работы по данной теме будет актуальным при разработке единого подхода к оценке деградации почв и включении коэффициента уязвимости структуры в качестве одного из показателей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алтухова И.Д., Солнышкина Е.Н. Заповедные уголки горняцкого края. Белгород: Белгородская областная типография, 2012. 96 с.
2. Атлас «Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области» / отв. ред. Ф.Н. Лисецкий. Белгород: БелГУ, 2005. 180 с.
3. Березин П.Н., Воронин А.Д., Шеин Е.В. Основные параметры и методы количественной оценки почвенной структуры // Почвоведение. 1985. №10. С. 58-68.
4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.:Агропромиздат, 1986. 416 с.
5. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
6. Вронский Б.А. Прикладная экология: учебное пособие. Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 1996. 312 с.
7. Географический энциклопедический словарь. Деградация почв. М.: Советская энциклопедия, 1988. С. 432.
8. Голубев Г.Н. Геоэкология. Учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Изд-во ГЕОС, 1999. 338 с.
9. Деградация и охрана почв / под ред. Г.В. Добровольского. М.: Изд-во МГУ, 2002. 657 с.
10. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
11. Дубовик Е.В. Взаимосвязь гумусового и структурного состояния в эродированных черноземах склоновых агроландшафтов ЦЧР: автореф.дис...д-ра.биол.наук: 03.02.13. Рос.гос.аграр.ун-т. М., 2017. 48с.

12. Заповедник «Белогорье», 2012. [Электронный ресурс] URL: <http://www.zapovednik-belogorye.ru/> (Дата обращения: 30.04.2017).
13. Захаров С.А. Курс почвоведения. Изд. 2-е, испр, и доп. / под ред. Г.А. Ржанова. М.: Гос. изд-во с.-х. и колхоз.-кооп. лит., 1931. 552 с.
14. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 220 с.
15. Когут Б.М., Сысуев С.А., Холодов В.А. Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании // Почвоведение. 2012. № 5. С. 555-561.
16. Корчагин А.А., Мазиров М.А., Шушкевич Н.И. / Физика почв: лаб. Практикум. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. 99 с.
17. Красная книга Белгородской области, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://cicon.ru/krasnaya-kniga-btlgorodskoioibl.html/> (Дата обращения: 18.04.2018).
18. Красная книга почв Белгородской области / Соловиченко В.Д., Лукин С.В., Лисецкий Ф.Н. [и др.]. Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. 139 с.
19. Красная книга России, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://redbookrf.ru/> (Дата обращения: 18.04.2018).
20. Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков: Изд-во «13 типография», 2008. 406 с.
21. Медведев В.В. Физическая деградация черноземов. Диагностика. Причины. Следствия. Предупреждение. Харьков: Изд-во «Городская типография», 2013. 324 с.
22. Методы оценки степени деградации сельскохозяйственных земель: научн. изд. / под ред. Н.Г. Ковалева. Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. 32 с.
23. Новых Л.Л, Хачатрян В.С., Пелехоце Е.А. Перспективные показатели для интерпретации результатов определения структурного



состояния почв: уязвимость структуры // Якаевские чтения 2017: Современные научные исследования: исторический опыт и инновации: материалы Междунар. научно-практ. конф.. 10-11 февр. 2017 г. Краснодар: ИМСИТ, 2017. С.88-93.

24. Организация объединенных наций. Программа ЮНЕП, 1992 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.un.org/ru/ga/unep/> (Дата обращения: 18.04.2018).

25. Почвоведение / под ред. И.С. Кауричева. М.: Изд-во Колос, 1989. 719 с.

26. Почвоведение: учеб. для ун-тов. В 2 ч. Ч. 1. Почва и почвообразование/Г.Д. Белицина, В.Д. Васильевская, Л. А. Гришина [и др.]; под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. М.: Высшая школа, 1988. 400 с.

27. Практикум по почвоведению / под ред. И.С. Кауричева. М.: Изд-во Колос, 1989. 272 с.

28. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / под ред. А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. М.: Росинформагротех, 2008. 67 с.

29. Путеводитель научных полевых экскурсий / под ред. Ю.Г. Чендева. Москва-Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2016. 122 с.

30. Розанов Б.Г. Морфология почв / М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.

31. Русаков А.В. Почвы и почвенный покров Ямской степи. СПб.: Изд-во С.-Петербур.ун-та, 2012. 216 с.

32. Сидоренко П.В. Переуплотнение почвы при сельскохозяйственных работах // Междунар. научно-техн. интернет-конф.. 22 дек. 2012 [Электронный ресурс]. URL: <http://kadastr.org/conf/2012/pub/monitprir/pereuplotneniepochv.htm> (Дата обращения: 24.04.2018).

33. Статистический ежегодник. Белгородская область. 2017: Стат. сб./ Белгород: Белгородстат, 2017. 524 с.
34. Хачатрян В.С. Уязвимость структуры целинного и пахотного чернозема // Материалы Междунар. науч. конф. XX Докучаевские молодежные чтения. 1–4 марта 2017 года. СПб, 2017. С.274-275
35. Хитров Н.Б. Деграация почвы и почвенного покрова: понятия и подходы к получению оценок // Антропогенная деграация почвенного покрова и меры ее предупреждения. М., 1998. Т.1. С. 20.
36. Хитров Н.Б., Чечуева О.А. Способ интерпретации данных макро- и микроструктурного состояния почвы // Почвоведение. 1994. № 2. С. 84- 92.
37. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
38. Шеин Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика. М.: Изд-во Феникс, 2006. 194 с.
39. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. № 1. С.53- 61.
40. Rohošková M., Valla M. Comparison of two methods for aggregate stability measurement – a review // PLANT SOIL ENVIRON. 2004. № 50 (8) P.379–382.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

## Классификация структурных элементов по С.А. Захарову [1931]

Тип структуры	Род структуры	Характеристика
<b>Округло-кубовидная</b> при более или менее равномерном развитии по трём осям, характерная для верхних гумусовых горизонтов почв; в пределах этого типа выделяется 7 родов структуры	глыбистая	неправильная форма и неровная поверхность агрегатов, характерна для глеевых, слитых, вспаханных горизонтов, а также на переходе к горизонту С на рыхлых породах;
	комковатая	округлая форма с шероховатой поверхностью без выраженных рёбер и граней, характерна для гумусовых и метаморфических горизонтов;
	ореховатая	более или менее правильные острорёберные агрегаты, напоминающие буковые орешки, характерна для верхней части иллювиального горизонта и метаморфических горизонтов
	зернистая	более или менее правильная форма с выраженными гранями, напоминающая гречневую крупу, характерна для гумусовых горизонтов лугово-степных почв, особенно чернозёмов;
	конкреционная	сплошное расположение рыхло располагающихся или частично сцементированных округлых конкреций, как в орштейне, канкаре или пизолитовом латерите
икряная	мелкие разной формы, но хорошо оформленные округлые агрегаты образуют сплошную массу	
<b>Призмовидная</b> при выраженном развитии по вертикальной оси, характерна для иллювиальных горизонтов и суглинистых почвообразующих пород;	столбовидная	правильной формы отдельности с хорошо выраженными вертикальными гранями, округлой «головкой» и неровным основанием, характерна для солонцовых и слитых горизонтов
	призмовидная	вертикально вытянутые отдельности слабо оформлены, с неровными скорлуповидными гранями и острыми вершинами, округлыми рёбрами, характерна для нижней части иллювиальных горизонтов и суглинистых почвообразующих пород
	призматическая	границы и рёбра вертикальных призм чётко выражены, характерна для иллювиальных горизонтов
<b>Плитовидная</b> при развитии по горизонтальным осям, характерна для элювиальных горизонтов почв	плитчатая	при более или менее чётко развитых горизонтальных поверхностях спайности
	чешуйчатая	при небольших, несколько изогнутых поверхностях спайности

## Виды деградации почв [Методы..., 2015]

№	Процессы деградации	Эффект деградации	Способ преодоления или минимизации эффекты
Химическая деградация			
1	Преобладание разложения гумуса над его ресинтезом	Гумусовая деградация, дегумификация,	Внесение навоза, использование растительных остатков, уменьшение доли пропашных, травы, щадящие обработки почвы
2	Преобладание потерь азота воздушным путем и на питание растений над его биологическим накоплением	Азотная деградация, денитрификация. Вымывание N-NO <sub>3</sub>	В дополнение к №1 внесение азотных удобрений по дефициту N в слое 0-60 см, увеличение посевов бобовых (люцерны и др.)
3	Потери фосфора на питание растений без его компенсационного внесения	Фосфорная деградация, дефосфатизация	В дополнение к №1 внесение фосфорных удобрений по дефициту P в слое 0-60 см
4	Потери калия на питание растений без компенсационного внесения	Калиевая деградация, депоташизация	В дополнение к №1 внесение калиевых удобрений под требовательные к ним культуры. В основном использование почвенных резервов
5	Вынос отдельных форм кальция, рост гидролитической кислотности, снижение величины рН	Кальциевая деградация, подкисление почв, декальцинация	Физиологически щелочные удобрения, известкование или внесение отходов сахарной промышленности
6	Недостаток в почве некоторых микроэлементов - йода, фтора, цинка	Микроэлементная недостаточность	Органические удобрения, внесение микроудобрений
7	Повышенный вынос солей поверхностным и речным стоком	Гидрохимическая деградация, вынос хим. элементов за пределы ландшафта	Снижение склонового стока и эрозии в речных бассейнах, недопущение смыва удобрений со стоком
8	Засоление почв при использовании для полива минерализованных вод	Галургическая деградация, избыточное засоление почв	Запрет для орошения некондиционных вод, промывка пресной водой

9	Заражение почв радионуклидами при атомных выбросах	Радионуклидное заражение, атомная радиация	Недопущение аварий на АЭС и других радиовыбросов. Спец. мониторинг.
Физическая деградация			
10	Разрушение зернистой структуры при плохой обработке почвы	Обесструктуривание, дезагрегация	Обработка почвы в состоянии спелости, посевы многолетних трав, полимеры
11	Переуплотнение почвы до 0,5 м, сокращение порового пространства и фильтрации воды	Переуплотнительная деградация, уменьшение порозности	Недопущение для обработки почвы тяжелых колесных тракторов (профилактика), глубокое рыхление почвы
12	В дополнение к №11-12 бесполезный поверхностный сток и физическое испарение воды	Иссушительная деградация, смыкание с атмосферной засухой	Зяблевая вспашка, неглубокая обработка почвы, лесокустарниковая защита
13	Огрубление структуры почвы (глыбы) из-за нарушения правил и сроков ее обработки	Агротехническая деградация, ухудшение строения пахотного слоя	Соблюдение нормативов обработки, использование адекватных орудий тяги и вспашки
14	Псевдослитизация нижней части пахотного слоя при высвобождении минеральных коллоидов из-за дегумификации	Псевдослитизационное уплотнение, деградация пахотного слоя, гидролизная деградация	В дополнение к №№ 1,11,12,13 специальные приемы обработки пахотного слоя, слежение за его состоянием
15	Ухудшение газообмена между атмосферой и почвой, проникновения в нее O <sub>2</sub> и выделения CO <sub>2</sub> из-за переуплотнения	Аэрологическая деградация, подавление газо-атмосферной функции	Выполнение способов №№11,12,14,15
16	Избыточное увлажнение при подъеме УГВ или их выклинивания на склонах, иногда сопровождаемое осолонцеванием	Образование мочаров - очагов избыточного увлажнения, мочаристая деградация	Осушение методом дренажа и сброса избытка воды. Превращение мочаров в биосферно-экологические оазисы для дикой флоры и фауны
17	Нарушение теплового режима почв из-за их осветления при снижении гумусности	Деколоризация почв, осветительная деградация	Все способы повышения гумусности почв, в отдельных случаях применение черных покрытий
Биологическая деградация			
18	Полное или частичное оголение почвы от растительности	Дефолиация, дефольная деградация	Недопущение изреженности посевов, оголения почвы

19	Истребление землероев (грызунов), сокращение образования кротовин	Девертебрация, девертебратная деградация	Элементы переложной системы, терпимое отношение к землероям
20	Угнетение и подавление мезофауны из-за №№ 1,9,12, уменьшение ее численности и видового разнообразия	Снижение активности мезофауны, мезофаунистическая деградация	Выполнение способов №№ 1,9,12,14,15, иногда интродукция червей
21	Подавление деятельности микроорганизмов из-за №№1,2,9,12, снижение их видового разнообразия	Уменьшение активности микроорганизмов, микробиологическая, биохимическая деградация	Выполнение способов №№ 1,9,12,14,15, иногда интродукция полезных микроорганизмов
22	Уменьшение количества энзимов из-за №№ 1,2,9,12,22	Снижение активности энзимов, дезэнзиматическая деградация	То же, что и для активизации микроорганизмов (№ 22)
23	Заражение почвы фитопатогенными микроорганизмами и веществами	Почвоутомление, фитотоксическая деградация	Недопущение монокультуры растений, чувствительных к токсикозу
24	Оглеение нижней части профиля почвы при подъеме УГВ или образовании верховодок	Установление анаэробного режима, восстановительная деградация	Правильное управление гидрологическим режимом окружающей территории
25	Уменьшение турбации (обмена) материалом нижних и верхних горизонтов при сокращении работы землероев и земляных червей(№№19,20)	Антитурбационная, зооантитурбационная деградация	Выполнение способов №№19,20
Профильные деградации			
26	Гидромеханический смыв половины горизонта А	Слабоэрозионная деградация	Обработка поперек склона, простые почвозащитные приемы
27	Гидромеханический смыв всего горизонта А и части В	Среднеэрозионная деградация	В дополнение к №26 ограничение доли пропашных культур, фитомелиорация
28	Гидромеханический смыв горизонта А и половины горизонта В	Сильноэрозионная деградация	Исключение пропашных культур, землевание местными мелиорантами
29	Смыв всего почвенного профиля, выход на поверхность почвообразующей породы	Геологизация почвенного покрова, контрэволюция почв	То же, что и №28, но с меньшим успехом

30	Сильное развитие линейной эрозии, образование склоновых оврагов	Овражная деградация почвенного покрова, усложнение СПП	Коренные мелиорации: полная засыпка или выполаживание оврагов, землевание местными мелиорантами
31	Погребение гумусированного делювия на глубину > 0,5м материалом эродированных почв	Инвертизация профиля почв, делювиальноинверсионная деградация	Строительство мелких прудов, при орошении и удобрении выращивание овощей
32	Вертикальная турбация и горизонтальное перемещение под влиянием оползней	Оползневая деградация почв, хаотизация почвенного профиля	Сложные гидротехнические мелиорации с последующим землеванием
33	Развевание, дефляция почв под воздействием ветров большой скорости	Сокращение мощности почв из-за ее сдувания, дефляционная деградация	Мелкая (плоскорезная) обработка почв, фитозащита
34	Засоление и осолонцевание почв при поливе некондиционными водами	Галосолонцовая деградация, формирование солонцового горизонта.	Гипсование, невозможность восстановления черноземного профиля
35	Трансформация минералогического состава, вынос гумуса, оглеение, осолонцевание при орошении некондиционными водами большими нормами	Ирригационно-минералогическая деградация, ухудшение минералогического состава, формирование нового ущербного типа почв	Вывод из активного поливного режима, разработка новых подходов к использованию и мелиорации почв
Географическая и общебиосферная деградация			
36	Из-за неравномерного внесения удобрений после обработки поле приобретает пестроту плодородия и урожайности	Внутрипольная деградация плодородия, пестрополье	Регламентация внесения удобрений по расчету их содержания в отдельных частях поля, прецизионное земледелие
37	Усложнение сложения почвенного профиля под влиянием неравномерного развития многих видов деградации	Географическая, пространственная деградация	Гомогенизация почвенного покрова, землевание смытых почв, засыпка оврагов, консолидация земель
38	Под влиянием нескольких деградаций резко ослабевают экологические функции почв	Биосферно-экологическая, общефункциональная деградация	Комплексы приемов преодоления деградации (№№1-37)
39	Снижение биопродуктивности и бонитета почв, урожайности сельскохозяйственных	Контрпродуктивная деградация, сильное снижение плодородия почв и их защитного действия на здоровье	Экологизация земледелия на ландшафтной или геобиоценотической основ, укрупнение обрабатываемых площадей



	культур пурификационной функции почв	и	человека и животных	
--	--	---	---------------------	--

Показатели для интерпретации результатов структурного состояния почв  
[Хитров, Чечуева, 1994]

№ п/п	Показатель	№ п/п	Показатель
1.	Макроагрегатный состав при сухом просеивании по Саввинову	5.1	Фактор дисперсности Качинского $K_k = a100/v$ , где $a$ - <0,001 мм при микроагрегатном анализе; $v$ - <0,001 мм при гранулометрическом анализе
1.1	"Распыленность" или "диспергированность" почвы - сумма агрегатов <0,25		
1.2	"Агрегированность" почвы - сумма агрегатов >0,25		
1.3	"Глыбистость" почвы	5.2	Фактор структурности $K_c = (v - a)100/v$ , где $a$ - <0,001 мм при микроагрегатном анализе; $v$ - <0,001 мм при гранулометрическом анализе
1.3.1	Сумма агрегатов >10 мм		
1.3.2	Сумма агрегатов >5 мм		
1.4	Мелкие фракции почвы		
1.4.1	Сумма агрегатов <2 мм		
1.4.2	Сумма агрегатов 0,25 - 1 мм	5.3	Степень агрегированности по Бэйверу и Родесу $K_a = (a - v)100/a$ , где $a$ - >0,05 мм при микроагрегатном анализе; $v$ - >0,05 мм при гранулометрическом анализе
1.5	Агрономически ценные фракции		
1.5.1	Сумма агрегатов 0,25 - 10 мм		
1.5.2	Сумма агрегатов 0,25 - 5 мм		
1.5.3	Сумма агрегатов 1 - 10 мм		
1.6	Наиболее агрономически ценные	5.4	Степень агрегированности по Бэйверу $K_b = (a - b)100/c$ $a$ - >0,05 мм при микроагрегатном анализе; $b$ - >0,05 мм при гранулометрическом анализе; $c$ - <0,05 мм при гранулометрическом анализе
1.7	Сумма агрегатов <0,5 мм		
1.8	Сумма агрегатов <1 мм"		
1.9	"Сумма агрегатов >1 мм		
1.10	Сумма агрегатов 1 - 5 мм		
1.11	Сумма агрегатов <5 мм	5.5	Микроструктурность по Димо $M_d = (a + b) - (c + d)$ , где $a, b$ - 0,25 - 0,05 и 0,05 - 0,01 мм при микроагрегатном анализе; $c, d$ - 0,25 - 0,05 и 0,05 - 0,01 мм при гранулометрическом анализе
1.12	Коэффициент структурности $K = \frac{0,25 - 10 \text{ мм}}{<0,25 \text{ мм} + >10 \text{ мм}}$		

2	"Макроагрегатный состав при мокром просеивании по Саввинову	5.6	Показатель микроструктурности по Даниловой $M = \sum(A_i - B_i)$ при $(A_i - B_i) > 0$ , где $A_i, B_i$ - содержание $i$ -й фракции при микроагрегатном и гранулометрическом анализах
2.1	Сумма агрегатов $<0,25$ мм"		
2.2	"Водопрочность" – сумма агрегатов $>0,25$ мм	5.7	Серия показателей Пури $M, M_o, M/M_o, G, G_o, G/G_o$ - средние и среднеквадратичные отклонения от гранулометрического и микроагрегатного составов
2.3	"Общее количество водопрочных агрегатов" - сумма агрегатов $>0,1$ мм		
2.4	"Наиболее ценная часть агрегатов" - сумма агрегатов 1 - 3 мм"	5.8	Потенциал агрегированности по Медведеву $K_m = (a - b)100/c$ , $a - >d$ мм при микроагрегатном анализе; $b - >d$ мм при гранулометрическом анализе; $c - <d$ мм при гранулометрическом анализе; $d$ - диаметр частиц, соответствующий точке пересечения дифференциальных кривых обоих анализов
2.5	"Агрегаты агрономически ценного размера" - сумма агрегатов 0,25 - 1 мм		
2.6	Сумма агрегатов $<0,5$ мм		
2.7	Сумма агрегатов $>0,5$ мм	5.9	Средневзвешенный диаметр микроагрегатов по Водяницкому $D_{ср} = \frac{\sum V_i r_i}{\sum r_i}$ , где $V_i$ - содержание $i$ -й фракции при микроагрегатном анализе; $r_i = \lg d_i$ - десятичный логарифм среднего диаметра частиц $i$ -й фракции (в мкм)
2.8	Сумма агрегатов $>3$ мм		
3	Сопряженный анализ данных сухого и мокрого просеиваний по Саввинову		
4	Энтропия распределения частиц $H = -\sum(ai/100) \cdot \log_2(ai/100)$ , где $ai$ - содержание $i$ -й фракции	5.10	Коэффициент общей агрегированности по Водяницкому $K_{oa} = \sqrt{\sum(A_i - B_i)^2/n}$ где $A_i, B_i$ - содержание $i$ -й фракции при микроагрегатном и гранулометрическом анализах; $n$ - число фракций
4.1	Сопряженный анализ данных микроагрегатного и гранулометрического составов		
5	Гранулометрический показатель структурности $P_c = (a + b)100/c$ для гумусных почв; $P_c = a100/(b + c)$ , для малогумусных почв, где $a, b, c$ - фракции гранулометрического состава $<0,001$ мм; $0,001 - 0,005$ мм; $0,005 - 0,05$ мм	5.11	Коэффициент изменения микроструктуры почвы по Водяницкому $M_c = K^{k_{oa}} - K^{n_{oa}} + D^{k_{ср}} - D^{n_{ср}}$ , где надстрочные индексы "n" и "k" соответствуют начальному и конечному состояниям