

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 ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРА

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО  
ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ЭРОЗИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮГО-  
ЗАПАДНОЙ ЛЕСОСТЕПНОЙ ПРОВИНЦИИ ЦЧР**

Выпускная квалификационная работа  
обучающегося по направлению подготовки  
21.04.02 Землеустройство и кадастры  
очной формы обучения, группы 81001614  
**Смирнова Григория Валерьевича**

Научный руководитель  
д.г.н., доцент  
Чендев Ю.Г..

Рецензент  
Михайленко И.И. –к.б.н.  
Зав. лабораторией  
ФГБНУ «Белгородский  
ФАНЦ РАН»

БЕЛГОРОД 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ЭРОЗИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ.....	8
1.1. Мониторинг плодородия пахотных земель сельскохозяйственного назначения в современных условиях.....	8
1.2. Современные представления о пространственной неоднородности почвенного покрова.....	12
1.3. Формирование ландшафтных систем земледелия с учётом пространственной неоднородности.....	25
1.4. Роль землеустройства в формировании ландшафтного точного земледелия.....	33
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
2.1. Физико-географическая характеристика изучаемой территории.....	37
2.2. Объект и методы исследования.....	43
Глава 3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ЭРОЗИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ.....	46
3.1. Особенности влияния длительной разновременной распашки на содержание гумуса в почвах полярных катен.....	46
3.2. Количественная оценка распределения гумуса в почвах эрозионных ландшафтов методами описательной статистики.....	53
3.3. Статистическая оценка количественных показателей однородности дисперсий выборок пространственного распределения гумуса в почвах.....	61
ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ЭРОЗИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ.....	65
4.1. Графическое моделирование пространственного распределения органического вещества в почвах эрозионных ландшафтов.....	65
4.2. Оценка однородности /неоднородности пространственного распределения органического вещества в почвах эрозионных ландшафтов.....	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	73
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	76

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА

1. Российская Федерация. Конституция. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законом РФ от 30.12.2008 №6-ФКЗ, от 21.07.2014 №11-ФКЗ) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

2. Российская Федерация. Законы. Земельный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 25.10.2001 №136 (ред. от 31.12.2017) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

3. Российская Федерация. Законы. О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 16.07.1998 № 101-ФЗ (ред. от 05.04.2016) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

4. Российская Федерация. Законы. О развитии сельского хозяйства: Федеральный закон от 29.12.2006 № 264-ФЗ (ред. от 28.12.2017) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

5. Российская Федерация. Законы. О землеустройстве: Федеральный закон от 18.06.2001 №78-ФЗ (ред. от 31.12.2017) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

6. Российская Федерация. Законы. Об обороте земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 24.07.2002 г. №101-ФЗ (ред. от 29.12.2017) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

7. Российская Федерация. Законы. О сельскохозяйственной кооперации: федеральный закон от 08.12.1995 № 193-ФЗ (ред. от 23.04.2018) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

8. Российская Федерация. Постановления. О федеральной целевой программе «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006 - 2010 годы и на период до 2013 года»:

Постановление Правительства РФ от 20.02.2006 № 99 (ред. от 27.12.2012) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2016.

9. Российская Федерация. Распоряжения. Об утверждении основных направлений деятельности Правительства РФ на период до 2012 года и перечня проектов по их реализации: Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1663-р (ред. от 14.12.2009) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2016.

10. Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года. // Распоряжение Правительства РФ от 30 июля 2010 года № 1292-р.

11. Белгородская область. Постановления. О Программе развития сельского хозяйства Белгородской области на 2008-2012 годы: Постановление Правительства Белгородской области от 8 октября 2007 г. № 231-пп // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

12. Белгородская область. Постановления. Об утверждении Положения о проекте адаптивно-ландшафтной системы земледелия и охраны почв: Постановление Губернатора Белгородской области от 4 февраля 2014 г. № 9 // Информационно-правовое обеспечение «Гарант», 2018.

## ВВЕДЕНИЕ

В современный период на формирование ландшафтов огромное влияние оказывает хозяйственная деятельность человека, в результате которой огромные территории вовлечены в сельскохозяйственное производство. При переходе к адаптивно-ландшафтному земледелию необходимо в первую очередь, хорошее знание специфики местных природных ландшафтов, что требует создания обширной пространственной и тематической информационной базы. Крайне необходимо проведение комплексного мониторинга, изучение и оценка тенденций изменения свойств почв и их распространения. Необходимость глубоких знаний почвенных ресурсов, создание и проведение государственной политики в области земельных ресурсов обусловлено эффективностью сельскохозяйственного производства.

«Положение о проекте адаптивно-ландшафтного земледелия на территории Белгородской области» устанавливает концепцию развития земледелия области и основные правила использования сельскохозяйственных земель. Сохранение и повышение плодородия почв - приоритетное направление сельскохозяйственной политики, которое основано на ландшафтной системе земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории, разрабатываемых при создании новых проектов землеустройства и при корректировке существующих. Современное земледелие, основанное на эколого-ландшафтных принципах, требует дифференцированного использования склоновых агроландшафтов. В соответствии с вещественно-энергетическими потоками, территорию склонов разделяют на агроландшафтные контуры, в составе которых выделяются территориально-экологические ниши, однородные в производственном отношении, чтобы до растения донести более точный агротехнический приём. На склоновых землях важно учитывать эрозионные

процессы. Смыв почв отрицательно влияет на их производственные способности, так как уменьшает мощность гумусного горизонта. Масштабы потерь гумуса, сокращение гумусного горизонта, разрушение энергетического потенциала почв за счёт эрозионных процессов достигают значительных размеров.

Рельеф оказывает влияние на плодородие почвы, и особенно на пространственное распределение показателей, вызывая определенную неоднородность, которую необходимо учитывать при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Неоднородность усложняет решение многих вопросов – классификацию почв, их картографирование, оценки состояния и мониторинг, правильное использование, организацию мелиоративных, почвозащитных мероприятий. Основными причинами являются действие факторов почвообразования, история самой почвы и хозяйственное использование почв. Оценка неоднородности почв проводится через учёт показателей, особое место занимают содержание органического вещества в почвах. Это важный показатель плодородия почвы, который играет большую роль в питании растений, оказывает положительное влияние на структуру почвы, её влагоёмкость, а также тепловой режим.

**Целью** исследований является проведение количественной оценки органического вещества в почвах эрозионных ландшафтов на пашне и в условиях целины.

В процессе исследования были поставлены следующие **задачи**:

- провести статистическую оценку значимости показателей содержания органического вещества в почвах эрозионных ландшафтов на пашне и в условиях целины;
- выявить различия по содержанию гумуса в почвах эрозионных ландшафтов на пашне и в условиях целины;
- выявить пространственные закономерности распределения содержания гумуса в почвах катен эрозионных ландшафтов в сопряженном анализе на целине и на пашне.

**Научная новизна:** впервые в условиях сравнительного анализа сопряженных угодий (пашня и целина) выполнена статистическая оценка показателей содержания гумуса, проведена оценка значимости показателей по содержанию гумуса в почвах катен целины и пашни на склоне разными статистическими подходами и выявлена закономерность пространственного распределения гумуса в изучаемых склоновых ландшафтах.

**Практическая значимость:** результатов исследования, определяется тем, что полученные данные могут использоваться в качестве основы экологически ориентированного точного земледелия.

**Структура выпускной квалификационной работы:** выпускная квалификационная работа изложена на 82 страницах. Состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературных источников из 63 наименований.

# **ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ЭРОЗИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

## **1.1. Мониторинг плодородия пахотных земель сельскохозяйственного назначения в современных условиях**

Основное назначение земель сельскохозяйственного назначения это производство сельскохозяйственной продукции. Земля выступает не только в качестве базиса для производственной деятельности, но и в качестве главного средства производства. Поэтому при характеристике этих земель выделяется такое важнейшее их свойство, как плодородие. При отсутствии плодородия невозможно производство сельскохозяйственной продукции.

Наиболее ценную часть земель сельскохозяйственного назначения составляют сельскохозяйственные угодья, важное место в которых занимает пашня. Эти земли имеют приоритет в использовании и подлежат особой охране.

Использование земель сельскохозяйственного назначения прописано в Земельном кодексе РФ в особом порядке. Кодекс содержит примерный перечень целей использования данных земель. Такие земли, могут быть использованы в ведении сельскохозяйственного производства, а также осуществляться следующие виды деятельности: растениеводство, овощеводство, декоративное садоводство и производство продукции питомников и т.д. [НПБ 2].

В последнее время наблюдается тенденция уменьшения земель сельскохозяйственного назначения. Огромные площади пахотных земель отводятся под индивидуальное строительство. Сокращаются территории пашни вследствие негативных процессов, связанных с эрозионными, оползневыми, дефляционными процессами, также увеличиваются



переувлажненные и затопленные территории. Поэтому необходимо проводить контроль за состоянием показателей плодородия земель, и осуществлять наблюдение за возникающими негативными процессами.

Регулирование мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения имеет существенное значение для обеспечения эффективного и рационального плодородия. В настоящее время в основе регулирования данных отношений, помимо норм Земельного кодекса РФ, лежит Федеральный закон от 16.07. 1998 ФЗ №101 «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения». В соответствии со статьей 15 данного Закона уполномоченный Правительством РФ федеральный орган исполнительной власти устанавливает порядок государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения [НПБ 3].

Уместно будет привести Правила государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения (утв. постановлением Правительства РФ от 1 марта 2001 г. N 154), разработанные специально под земельный кодекс. Настоящие Правила, разработанные в соответствии с Федеральным законом «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения», устанавливают порядок государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации. Учет показателей плодородия проводится в целях:

- а) формирования полной и достоверной информации о состоянии и динамике плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- б) выявления и предотвращения отрицательных результатов хозяйственной деятельности на землях сельскохозяйственного назначения;
- в) выявления резервов обеспечения устойчивости сельскохозяйственного производства;
- г) информационного обеспечения государственного земельного кадастра [НПБ 3]..

Данные учета показателей плодородия подлежат включению в государственный кадастр недвижимости.

Однако, после почти десятилетнего периода действия выше названных правил, в России продолжало ухудшаться положение по учету показателей плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

В связи с этим, в июле 2010 года была принята «Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения...» [НПБ 10]. В данном документе указано, что в стране ухудшается состояние земель, которые используются для сельскохозяйственного производства. В ней отмечается, что почвенный покров подвергается деградиционным явлениям, загрязнению территории. Кроме того, почва теряет устойчивость к разрушению, современные агротехнологии не способны восстановить почвенное плодородие, не хватает минеральных удобрений, чтобы решить вопросы по воспроизводству плодородия. Конституция РФ и Земельный кодекс [НПБ 1, 2] определили введение частной собственности, в том числе и на земли сельскохозяйственного назначения. В сельскохозяйственном производстве это привело к появлению большого количества собственников земли, возросло количество товаропроизводителей разных форм собственности. Мониторинг, который осуществлялся в рамках «Правил государственного учета» не обеспечивал наблюдение за земельными участками и полями севооборота как производственным ресурсом, слежение за почвенным плодородием не осуществлялся по многим показателям, которые имеют существенное значение для сельскохозяйственного производства. Понятно, что учет сельскохозяйственных земель, которые имеют определенную специфику, как средство производства, требует других подходов.

В рамках Концепции [НПБ 10] должен осуществляться государственный мониторинг земель сельскохозяйственного назначения, данные которого, являются необходимой основой для государственных информационных ресурсов о состоянии и использовании рассматриваемых

земель. В неё вошли понятия, которые расширили деятельность мониторинговых служб.

Государственный учет показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения включает в себя сбор и обобщение результатов почвенного, агрохимического, фитосанитарного и эколого-токсикологического обследований земель сельскохозяйственного назначения.

Учет показателей проводится в целях обеспечения органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, заинтересованных граждан и юридических лиц информацией о состоянии плодородия указанных земель [НПБ 3].

Проведение мониторинга должно привести к своевременному выявлению изменений о состоянии земель, при этом можно оценить их и выработать прогнозные мероприятия по предупреждению негативных явлений. В задачи также входят получение данных при систематическом обследовании почвенного покрова и выявлением качественных изменений показателей плодородия.

Необходимо проводить исследования, которые направлены на поиск подходов, связанных с разработкой долгосрочных прогнозов по изменению компонентного состава и структуры почвенного покрова. Изучать процессы, влияющие на показатели плодородия почв, и рассматривать пути их сохранения.

Важным мониторинговым показателем плодородия является органическое вещество почвы. В условиях длительного антропогенного воздействия на почвы происходит его уменьшение, что негативно сказывается на ее плодородии.

## **1.2. Современные теоретические представления о пространственной неоднородности почвенного покрова**

Впервые четкое представление о существовании в природе определенных комбинаций (сочетаний и комплексов) различных почв, закономерно повторяющихся в пространстве и обуславливающих неоднородность почвенного покрова, было сформулировано Н.А. Димо и Б.А. Келлером (1907) [13]. Представления об эволюции СПП, сопряженной с эволюцией рельефа сформировал Неуструев С.С.(1931) [29]. Окончательную концепцию СПП сформировал Фридланд В.М. (1972) [45]. Изучение СПП базируется на выделении исходных структурных единиц с заданными границами. Фридланд В.М. (1972) [45] предложил общепринятой элементарной единицей структуры почвенного покрова считать элементарный почвенный ареал.

В связи с развитием ландшафтных подходов в использовании сельскохозяйственных агроландшафтов, появилась необходимость в изучении пространственного варьирования свойств почв. Во второй половине XX века стали накапливаться сведения о неоднородности почвенных свойств и появились работы, указывающие на создание нового научного направления. В трудах Е.А. Дмитриева (1993) [14], рассмотрены различные аспекты проявления почвенной вариабельности и их влияния на информацию о почвенных объектах. Изучение пространственной изменчивости почвенных свойств касались известные исследователи Б.Г. Розанов (1975) [34], Годельман (1981) [8] и другие, однако их работы представляли лишь теоретический интерес. В последние годы данная проблема перешла в практическую область (Webster R. 1992 [58], Robert P., 1993 [56], McBratney, 1990 [55], Якушев В.П., 2002 [49] и др). Несомненно, этому способствовало развитие концепции точного земледелия.

Заслуживают внимания исследования, проведенные в Почвенном институте им. В.В.Докучаева Фридом А.С. (2001; 2002) [43,44], где

разработаны методические вопросы изучения и оценки неоднородности плодородия почвенного покрова поля. Их подход состоит в том, чтобы путём обследования почв и растений по аналогии с элементарными почвенными ареалами следует выявлять (выделять) на поле ареалы, однородные по показателям плодородия. Обосновывается выбор шага обследования, предложены алгоритм выделения ареалов по неограниченному комплексу показателей плодородия, а также алгоритм комплексной оценки плодородия поля с использованием шкал обеспеченности или продуктивности. В связи с этим появились исследования о закономерностях изменчивости отдельных свойств дерново-подзолистых почв в трудах Басевич, (1996) [4]; Самсоновой и др., (1999) [36]; Готра, (2004) [9]. В последнее десятилетие выполнены работы, посвященные изучению пространственного варьирования показателей плодородия серых лесных почв у Мелиховской ,(2011) [24], черноземов у Княжевой, (2004) [20]; в трудах Васеневой и др. (1998) [6].

Не менее важным вопросом, который рассматривается в современных исследованиях, является оценка пространственной неоднородности показателей плодородия. Большое внимание уделяется геостатистическому методу [25], который предполагает оценивать неоднородность в пространстве и выявление ее воздействия на урожайность сельскохозяйственных культур [24; 6]. Много мнений возникает по поводу причин, вызывающих пространственное варьирование показателей плодородия почв. В первую очередь упоминается, что этот процесс связан с неоднородностью почвообразующих пород, затем ее связывают с влиянием сельскохозяйственного использования [25]. Менее известна роль рельефа на микроуровне. Изучение пространственного варьирования показателей плодородия в условиях развития активных эрозионных процессов является актуальным и перспективным, особенно для юго-западной лесостепной провинции Центрально-черноземной зоны, где большая часть сельскохозяйственных земель расположена на склонах.

Несмотря на большое внимание исследователей к неоднородности почв, обилие различных концепций и формулировок, сегодня нет единой точки зрения об этом понятии.

Известно, что прямая роль рельефа заключается в развитии эрозионных процессов, косвенная выражается в чрезвычайно большой дифференциации земной поверхности всех явлений, составляющих сущность почвообразования, и факторов, влияющих на них [22].

Рельеф воздействует на плодородие почв повсеместно, но интенсивность его влияния зависит от конкретных почвенно-климатических условий, прежде всего от геоморфологической структуры ландшафта. Разнообразие форм рельефа сопровождается существенным варьированием плодородия почв, при прочих равных условиях плодородие будет зависеть от положения участка в рельефе, крутизны и формы склона, его экспозиции, т.е. совокупных свойств рельефа [2].

Эрозия - естественный геологический процесс, который нередко усугубляется неосмотрительной хозяйственной деятельностью. По оценкам научных учреждений, почвы сельскохозяйственных угодий России ежегодно теряют около 1,5 млрд. т плодородного слоя вследствие проявления эрозии.

С усилением степени развития эрозионных процессов связывается уменьшение мощности гумусового профиля, снижение содержания гумуса и валовых форм азота и фосфора, уменьшение гидролитической кислотности. Многие авторы отмечают, что на склонах южной экспозиции эти изменения выражены в большей степени, чем на склонах северных экспозиций, что связано с преимущественным развитием на инсолируемых склонах эрозионных процессов [48].

Вместе с тем водная эрозия не является единственной причиной различий плодородия почв на склонах. Шурикова В.И. и Ермоленко Г.П. (1985) [47], утверждают, что в отличие от почв, сформировавшихся на водоразделах, формирование почв на склонах происходило под влиянием транзитно-внутрипочвенного передвижения влаги и перераспределения

почвенного материала по склону за счет смыва и намыва. Причем, на интенсивность этих процессов оказывает влияние местонахождение этой почвы на склоне, характер почвообразующих пород, характер хозяйственной деятельности человека [47].

Эродированная пашня – это не просто изуродованная земля, это миллионы тонн недополученной продукции. Причиной снижения биопродуктивности почв сельхозугодий является уменьшение запасов гумуса. Согласно прогнозу Института наблюдений за состоянием мира (Нью-Йорк), при существующих типах эрозии к 2330 г. плодородной земли на планете станет меньше на 960 млрд. тонн.

Перераспределение влаги осадков на склоновых агроландшафтах за холодный период на протяжении всего времени педогенеза, по мнению Полупана и др. (1996) [32], обусловило различную глубину влагооборота, а в связи с этим и почвообразовательного процесса. Вследствие этого сформировались разные по морфологическим параметрам почвы. Мощность их профиля отражает влагообеспеченность места формирования, а не развития эрозионного процесса. Поэтому склоновым ландшафтам присущ ксероморфизм [32]. Комплекс морфологических, анатомических и физиологических признаков, возникающих у растений как приспособление к засушливым условиям обитания, называется *ксероморфизмом*. Глубина корневой системы травянистых растений зависела от глубины промачивания почвы. Крутизна склонов и характер испарения отразили глубину проникновения атмосферных осадков в субстрат поверхности суши [7]. Более низкая продуктивность склонового биоценоза и его качественный состав формировали определенную направленность почвообразовательного процесса, вследствие этого и неоднородность.

Наиболее корректно неоднородность следует рассматривать как следствие разнообразной пространственной организации объекта. При этом, если хотя бы один из признаков изменяется в зависимости от координаты, такой объект можно считать неоднородным (подход известен в геологии).

Применительно к почвенному покрову, представлении о неоднородности несколько усложняется. Почва как многовекторная система, как правило, неоднородна во всех направлениях. В вертикальном - это система последовательных генетических горизонтов. В горизонтальном - неоднородность также обязательно присуща (вследствие действия факторов почвообразования), но её идентификация сопряжена с определёнными трудностями и возможна лишь при применении заранее оговорённых условий (прежде всего связанных с классификационными подразделениями, на основании которых и устанавливают границы) [].

Неоднородность рассматривается как синоним вариабельности в пределах небольших пространств - одного элементарного почвенного ареала. Эту неоднородность и называют пространственной неоднородностью почвы в пределах одного почвенного контура - педона. Такое уточнение очень важно, оно позволяет отделить неоднородность почвенного контура от неоднородности почвенного покрова. Масштаб при рассмотрении неоднородности приобретает особое звучание [17].

Б.Г. Розанов (1975) уравнивает понятия неоднородности и анизотропности, т.е. различия в свойствах почв по вертикали и горизонтали, называя различные явления и процессы, усиливающие неоднородность (варьирование по мощности горизонтов, засолению, увлажнению). Неоднородность почв фактически устанавливается по статистическим параметрам свойств и процессов [34].

Ф.И. Козловский (2003) связывал неоднородность почв со статистической неоднородностью распределения, т.е. неслучайным характером варьирования значений какого-либо показателя почв. Предложения Ф.И. Козловского достаточно интересны для более подробного рассмотрения. Решить вопрос о том, однороден объект или нет, можно при условии, что:

- 1) размер сравниваемых частей не произволен. Сравниваются части, представляющие собой сопоставимые по размеру структурные единицы;



2) количественная характеристика элемента ограничивается природой величины, а не разрешающей способностью применяемых методов;

3) критерием однородности является не контрастность значений, а случайный характер их варьирования [21].

Неоднородность рассматривается как следствие природы объекта, а не привносится искусственно за счёт метода исследования. Другое важное замечание - об объективных критериях разграничения и полезности использования при этом математических средств и, в частности, теории вероятности. Ф.И. Козловский подчёркивает, что варьирование почвенных свойств может вызываться случайными причинами, а может быть закономерным явлением [21].

Если варьирование случайное, то его описание осуществляется с помощью случайной величины, когда каждому упорядоченному значению аргумента (сочетания факторов почвообразования) может соответствовать несколько значений функции (свойств почв). Тогда каждое единичное значение функции может оправдаться лишь с определённой вероятностью.

Если варьирование закономерное, то взаимоотношения между аргументом и функцией (между факторами почвообразования и свойствами почв) устанавливаются более определённо: каждому аргументу соответствует только одно значение функции.

В.М. Фридланд (1972) оценивал неоднородность проще: все случаи отклонения распределения от нормального считались проявлением неоднородности [45].

Этот краткий перечень различных подходов доказывает отсутствие устоявшихся представлений о неоднородности. Неоднородность действительно есть нечто иное, как вариабельность, но, в то же время не всякая вариабельность свидетельствует о неоднородности почв. Вряд ли правильно неоднородность отождествлять с анизотропностью. Анизотропность представляет собой универсальное свойство любой почвы, а неоднородность - специфическое свойство различной пространственной

организации, вероятно, не имманентное (обязательно присущее) любому почвенному покрову.

Е.Д. Дмитриев (1996) предлагает рассмотреть несколько вводных понятий, а именно: неоднородность свойства (например, содержание гумуса) и предмета (явления) - например, генетического горизонта, профиля, поля; неоднородность может быть найдена в отношении события (которое на отдельном участке поля постоянно случается, а на другом отсутствует) и свойства. Неоднородность может относиться к целому объекту или его части. Сходство и различие может быть установлено лишь при наличии соответствующих критериев. Неоднородность может быть выражена явно и неявно (скрыто) и в соответствии с этим находится легко или достаточно сложно с помощью специальных приёмов анализа. Неоднородность чаще требуется найти не между двумя-тремя объектами, а выделить из множества предметов. Неоднородность имеет размер, форму, определённую, порой сложную конфигурацию, внутреннюю структуру. Для её идентификации прибегают к расчётам дисперсии, коэффициента вариации, долевого участия компонентов, исследованию топографии местности [16].

Неоднородность усложняет решение многих вопросов - классификацию почв, их картографирование, оценки состояния и мониторинг, правильное использование, организацию мелиоративных, удобрительных и почвозащитных мероприятий.

Любая почвенная граница, как отмечал В.Ф. Фридланд (1972) - это граница классификационных почвенных групп. Именно так устанавливают границы на любых картах – почвенных, агроклиматических и т.д. [45].

Основными причинами неоднородности являются действие факторов почвообразования, история развития самой почвы и хозяйственное использование почв. В соответствии с масштабом неоднородности могут быть названы несколько причин, её вызывающие. Если иметь в виду глобальную неоднородность, то здесь самым важным представляется широта местности и различный приход солнечной радиации (атмосферный климат).

Гораздо больший интерес имеют неоднородности на уровне педона или полипедона. Основными причинами неоднородности выступают литологические, геоморфологические, ценогенетические и биогенные.

В первую очередь должна быть упомянута неоднородность почвообразующих пород, которая формирует неоднородность почв, её наследующих. Ведь подстилающая порода в силу различий гранулометрического, химико-минералогического состава и физических свойств уже является гетерогенной, неоднородной. Её неоднородность выражена как по вертикали в виде сменяющих друг друга различных слоёв - разновозрастных отложений, так и по горизонтали. Почва наследует от породы состав и соотношение основных гранулометрических элементов, их химический состав, причём настолько точно, что стал возможен даже поиск рудных элементов по химическому составу почвы. Он получил название литохимический метод. Почва наследует признаки засоления. То же можно сказать об оглеенности почв, которая чаще всего бывает следствием переувлажнения подстилающей породы. Правда, со свойствами породы наиболее тесно связан лишь нижний переходный горизонт, как это отмечается при сравнении его плотности сложения и плотности породы [25].

Л.Г. Раменский (1937) предложил свойства почв, унаследованные от породы, назвать палингенетическими, или, по Карпачевскому (2001) литогенетическими, в отличие от тех свойств почвы, которые в первую очередь связаны с современным фитоценозом (биоценозом). Эти свойства названы ценогенетическими [17].

В процессе почвообразования и особенно в процессе сельскохозяйственного использования почв неоднородность почв усиливается. Растительность формирует разнокачественные условия в соответствии с вертикальными ярусами и горизонтальными структурами, перераспределяет осадки, вследствие чего различные участки по-разному увлажняются и прогреваются. Вследствие этого меняется пространственная интенсивность процессов почвообразования [30].

Между растительностью и почвой складываются сложные взаимоотношения не только в пространстве, но и во времени. Л.О. Карпачевский (2001), не возражая против общих законов влияния факторов почвообразования на свойства почв, утверждает, что растительность обычно связана со свойствами почв лишь коэффициентом корреляции не выше 0,5. Причина - разнонаправленное влияние факторов и их сложные взаимоотношения с климатом. Но в целом фитоценоз порождает неоднородность и поддерживает её неопределённо продолжительное время. Растительность способна приспособливать почву для своих потребностей, т.е. в определённой мере менять её свойства [17].

Неоднородность считается фактором, ответственным за биоразнообразие, благодаря ей формируются экологические ниши и обеспечивается многообразие населяющих почву организмов. Руководствуясь формальной логикой, то можно принять без доказательств неоднородность ответственной за устойчивость почвенного покрова. В литературе подобная гипотеза не развита, однако она имеет под собой все основания. Изученные почвенные неоднородности различных зон показывают исключительно устойчивый их характер и способность к саморазвитию, косвенно подтверждает, что при наличии комплексного почвенного покрова формируются устойчивые взаимосвязи между его компонентами и факторами почвообразования, способствующие равновесию в этой системе. Е.В. Шеин и др. (2001) утверждали, что неоднородность почвенно-физических режимов (водного, воздушного, теплового) является основой устойчивого существования разнообразных условий для различных биоценозов – основой биоразнообразия [46].

Значительна роль в формировании неоднородности почвенных животных. Они пронизывают почвенную толщу ходами и норами, рыхлят и перемешивают почвенный материал, образуют отверстия и пустоты в почве, перемещают химические вещества с глубины и обратно, образуют на поверхности холмики выброшенной земли с

формированием характерного нано- и микрорельефа, вытаптывают и утрамбовывают почву копытами. Последствия перечисленных форм деятельности животных самые разнообразные - изменения морфологического строения, сложения, характера увлажнения и испарения влаги, режимов, химических и физических свойств.

Общеизвестна и общепризнанна роль рельефа - в перераспределении влаги и тепла. Она достаточно полно используется на макроуровне, при выделении различных элементов рельефа (различных почв), в косвенной диагностике водно-теплового режима, эродированности почв. С учётом рельефа осуществляют практически все виды работ в сельском хозяйстве - агротехнологические, мелиоративные, лесотехнические, машинно-тракторные и прочие. Практически в зависимости от рельефа осуществляют землеустроительное проектирование. Оценено значение рельефа в контурно-мелиоративном земледелии, где в зависимости от угла наклона планируют типы севооборотов, высеваемые культуры, способы обработки.

Менее известна роль рельефа на микроуровне в пределах педона (отдельного почвенного контура) и поля севооборота. Нередко можно видеть, как даже в условиях мелкоконтурности полей землеустроители, стремясь увеличить размер пашни, вовлекают в оборот склоны, ложбины, водоохранные зоны, деградированные, малопродуктивные и пойменные участки. При этом в обработку попадают очень неоднородные поля, на которые в дальнейшем распространяются так называемые зональные системы земледелия, характерной чертой которых является универсализм для достаточно больших территорий. В них дифференциация предусматривается на макроуровне - для склона, автоморфной территории, поймы. В них нет и речи о дифференциации обработки и внесения удобрений в масштабе поля. Таким образом, зарождалась и повсеместно внедрялась современная система земледелия. Для такой системы предложения об адаптивной, ландшафтной, контурно-мелиоративной и точной системе земледелия являются чуждыми, неприемлемыми.

Вовлечение земель в сельскохозяйственную культуру, их распашка, удобрение и мелиорация усиливают неоднородность. Причины кроются в несовершенстве технологии и техники выполнения агротехнических работ. При обработке создаётся плужная подошва (причём она не имеет сплошности и неравномерна по толщине), вовлекается в пахотный слой верхняя часть иллювиального горизонта (неравномерно), при обработке склонов пахотный слой постепенно перемещается вниз по склону. Для всех случаев есть одно общее – происходит смешивание слоёв, обладающих различными свойствами и плодородием. При этом неоднородность почв возрастает, ибо процессы носят случайный незакономерный характер. Также неравномерно подаётся по полю поливная влага. Этому содействует внесение органических и минеральных удобрений, средств защиты растений, которое из-за несовершенства дозирующих устройств неравномерно.

Давление ходовых систем мобильных сельскохозяйственных агрегатов оставляет на поле переуплотнённые колеи, нередко сохраняющиеся в течение всего вегетационного периода (после прохода энергонасыщенных тяжёлых устройств). Разуплотнение происходит только в тех участках, куда попадает влага, проникают корни растений, развиваются биологические и биохимические процессы. Если влага не может проникнуть в почву или проникает в неё медленно, то соответственно процессы разуплотнения тормозятся или не идут вовсе. Так возникает неоднородность в отношении физических свойств и режимов.

Основным критерием неоднородности является вариация, представляющая собой изменчивость наблюдений, характеризующая свойства почвы. Показатели формируют вариационный ряд, который обычно оценивается с помощью общего числа показателей, их размахом, наибольшим и наименьшим значениями, модой (значение показателя, наиболее часто встречающегося в ряду), медианой (средним значением вариационного ряда), набором средних величин, исчисленных как среднее арифметическое, среднее геометрическое, средневзвешенное. Используются

также среднее абсолютное отклонение, среднее квадратическое отклонение, дисперсия, коэффициенты вариации, асимметрия, крутизны и другие [19].

С помощью этих показателей выясняют основные закономерности ряда (мера изменчивости ряда, тенденции). Показатели используются для оценки конкретных полей с целью обоснования необходимости дифференциации в них способов обработки, внесения удобрений и почвоохранных приёмов.

Среднее арифметическое - наиболее распространённая оценка в обычной статистике, которое заменяет все индивидуальные характеристики в вариационном ряду одним значением.

Дисперсия - сумма отклонений отдельных значений показателей от средней арифметической, возведённая в квадрат и делённая на общее количество показателей, или, что точнее, среднее квадратическое отклонение - корень квадратный из дисперсии.

Коэффициент вариации - отношение среднего квадратического отклонения к среднему арифметическому, выраженному в процентах.

Среднее арифметическое, дисперсия, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации - наиболее употребимые параметры вариационного ряда [15].

Неоднородность почвенного покрова всегда была известна, но, из-за значительных трудностей её изучения, она как бы не замечалась, а в прикладном плане - недооценивалась. Отношение к ней стало меняться с 60-70 гг. Внимание стало усиливаться с появлением запроса со стороны земледельческой практики в целях обоснования точного земледелия. Существует ряд факторов, которые будут содействовать ускоренному развитию этого направления. Первый из них - растущие возможности дистанционных средств зондирования, что будет способствовать удешевлению детального почвенно-агрохимического обследования, необходимого в обосновании точных технологических приёмов. Наиболее важен второй фактор, который касается несомненно существующих связей между почвой и биоразнообразием. Исследование почвенного покрова стало

системным и упорядоченным, когда в нём была установлена структура и выделена её элементарная единица - элементарный почвенный ареал.

Неоднородность в пределах поля севооборота чаще всего соответствует педону либо полипедону, что означает присутствие на поле одного или нескольких элементарных почвенных ареалов определённой конфигурации и размеров. Исследованию нужно подвергнуть всё пространство поля, а не отдельные разрезы либо образцы, какими бы типичными и представительными они не казались. В этом состоит первый и наиболее важный методологический принцип изучения неоднородности - охват всего пространства, или всего почвенного покрова поля.

Неоднородность следует знать для того, чтобы разделить поле на части (если соседние участки значительно различаются между собой и требуется по-разному строить стратегию землепользования) либо дифференцировать технологии возделывания (если различия не столь велики и достаточно лишь изменить существо отдельных технологических операций). Для этого необходимо количественно оценить величину вариабельности и уровень различий между отдельными почвенными ареалами. Это является следующим методологическим принципом изучения неоднородности - оценка меры неоднородности.

Отдельные участки поля различаются по величине потенциального и эффективного плодородия. Такие показатели как содержание гумуса, гранулометрический состав, ёмкость катионного обмена, её качественный состав и некоторые другие скорее характеризуют уровень потенциального плодородия. В то же время содержание подвижных элементов питания, влажность, плотность сложения, структурный состав - уровень эффективного плодородия. И те, и другие одинаково важны при изучении неоднородности. Первые - послужат основой для выделения относительно стабильных зон, различающихся по плодородию, вторые - для дифференциации в них технологических текущих операций по возделыванию культур. Данный



методологический принцип изучения неоднородности - оценка уровня неоднородности показателей плодородия почв поля [25].

### **1.3. Формирование ландшафтных систем земледелия с учётом пространственной неоднородности**

Агроландшафт представляет собой совокупность экосистем и агроэкосистем на геоморфологической конструкции природного агроландшафта. Система земледелия выступает средством управления режимами агроландшафта, для получения объема органического вещества, который связан в урожае сельскохозяйственных культур в результате правильного использования природных и антропогенных ресурсов [1].

Современное мировое земледелие направлено на укрепление экологических основ, которые базируются на законах развития биосферы и ноосферы, с учетом ландшафтной экологии. Главное требование к ландшафтным системам земледелия заключается в поиске путей, ведущих к сбалансированности и стабильному функционированию агроландшафтов. Необходимо приближать функции агроландшафтов к природным аналогам экосистем и создавать ландшафты с экологическим равновесием. Только в Природе мы можем найти такой подход, изучая вертикальные и горизонтальные структуры ландшафтных единиц. Для сохранения и повышения продуктивности агроландшафтов необходимо повторять природные процессы, используя их в своей сельскохозяйственной деятельности [33].

При разработке ландшафтных систем земледелия используются принципы, которые способны обеспечивать условия для расширенного воспроизводства плодородия почв и устойчивое ведение отрасли. К ним относятся системный подход, учитывающий зональность, адаптивность культур и технологий их возделывания к условиям местности, социально-

экономическая целесообразность, экологическая безопасность и эстетическая привлекательность.

В агроландшафтах в результате антропогенного воздействия происходит не только нарушение взаимосвязи между компонентами, но, изменяются и сами компоненты. В частности нарушается сложение почвы, изменяется биоценоз, характер увлажнения, микроклиматические условия. Однородные по типичности технологического воздействия и адаптивности культур к условиям, почвенные различия объединяются в агроландшафтный контур, который на практике может представлять рабочий участок. Относительно однородные агроландшафтные контуры по генетическим, геоморфологическим, гидрологическим признакам и микроклиматическим условиям объединяются в агроландшафтные массивы, на основе которых формируются поля севооборотов. В условиях интенсивного движения водных, воздушных горизонтальных потоков, с целью предотвращения и исключения негативных процессов в результате их воздействия на почву, микроклимат и в целом на охрану окружающей среды, в агроландшафтных массивах выделяются агроландшафтные полосы по критерию интенсивности потока [33].

Серьёзный удар по экологическому состоянию земель нанесли организационно-экономические преобразования сельского хозяйства. Были нарушены традиционные и зональные системы земледелия. Стали, с одной стороны, преобладать экстенсивные агротехнологии с низкими дозами минеральных удобрений, резким сокращением числа обработок почвы и объёмов применения органических удобрений и мелиорантов, нарушением севооборотов, с другой стороны, в обеспеченных хозяйствах увлекаются чрезмерным применением минеральных удобрений, пестицидов, мало используют органические удобрения, не задумываясь о негативных последствиях не научно обоснованных действий. В таких условиях сильное развитие получают деграционные процессы в почвах: эрозия, дефляция, дегумификация, подкисление, ощелачивание и засоление. Со снижением

реального (эффективного) плодородия земель и уровня технологической культуры земледелия упала рентабельность сельскохозяйственного производства. Резко сокращаются объёмы проведения почвозащитных и противоэрозионных мероприятий.

Развитие сельскохозяйственного производства в сложившихся эколого-экономических условиях (жизненная необходимость повышения рентабельности производства, с одной стороны, и серьёзное обострение агроэкологической ситуации, и как следствие, возрастание экологических и экономических рисков производства, с другой стороны) требует перехода к адаптивно-ландшафтным системам земледелия [1].

Поскольку упорядочение использования земельных ресурсов осуществляется через систему земледелия, то, следовательно, решать экологические проблемы это значит совершенствовать системы земледелия с ориентацией на адаптивность и биологизацию их на ландшафтной основе. Это значит, также, формирование системы земледелия как агроэкосистемы, где все природные и антропогенные компоненты представляют собой единый биомеханизм. Вот почему по новым концепциям «земледелие» и «ландшафты» диффузно связываются в единый организм. Отсюда и название нового направления - «ландшафтное земледелие», т.е. системы земледелия должны быть и экологическими, и ландшафтными, а значит и более экономически выгодными [33].

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия - это система использования земли определённой агроэкологической группы ориентированная на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными (рыночными) потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия [1].

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия отличаются от зональных систем земледелия более определённым экологическим адресом и

адаптивностью к почвенно-климатическим условиям, различным уровням интенсификации производства, хозяйственным укладам и требованиям рынка.

При адаптивно-ландшафтных системах земледелия решаются следующие задачи:

- агроэкологическая оценка земель по ресурсам плодородия, тепла и влагообеспеченности;
- сближение хозяйственных и экологических целей на основе рационального природопользования;
- рациональное использование природных и хозяйственных ресурсов земледелия;
- комплексный учёт организационно-экономических и природных особенностей сельхозпредприятий при выборе их специализации и формировании структуры посевных площадей;
- адаптивность агротехнологий, системы обработки почвы, удобрений и других элементов к конкретным агроэкологическим группам земель с учётом экономических условий;
- эффективное использование материальных и денежных ресурсов, достижение потенциальной продуктивности земель.

Разработка и освоение адаптивно-ландшафтных систем земледелия обеспечит рост продуктивности земель, увеличение окупаемости вкладываемых средств, повышение рентабельности и прибыльности сельскохозяйственного производства.

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия разрабатываются применительно к различным агроэкологическим группам земель, исходя из их агроэкологического состояния и биологических, агротехнологических требований растений.

Важнейшим их условием является обеспечение устойчивости агроландшафтов за счёт:

- экологизации технологических процессов;

- формирования оптимальной инфраструктуры землепользования;
- предупреждение процессов деградации [1].

Сущность экологического подхода означает, что земля и другие природные ресурсы используются с восстановлением и сохранением равновесия в системах земледелия, как экосистемах, и созданием условий для воспроизводства и саморегуляции ресурсов. Сущность ландшафтного подхода заключается в том, что деятельность человека осуществляется с максимальным учетом разнообразия природных условий территории и имитацией природных процессов.

Эколого-ландшафтное земледелие решает задачи:

- останавливает эрозию почв;
- уменьшает интенсивность засухи;
- создает условия для стабилизации и повышения плодородия почв;
- создает устойчивые экологические системы, улучшающие агросреду и условия для воспроизводства естественной растительности и животного мира;
- обеспечивает биологизацию земледелия и повышение его экономической эффективности [33].

Формирование агротехнологий различного уровня интенсивности должно исходить из следующих основных принципов:

- наличие соответствующего уровня материальных, денежных и трудовых ресурсов. Принцип обосновывается различным уровнем планирования урожая сельскохозяйственных культур, требующего проведения технологических операций различной энергоёмкости, возрастающей от экстенсивных технологий к интенсивным;
- соответствие (адаптивность) технологий местным условиям производства. Принцип предписывает целесообразность

использования различных типов технологий в зависимости от агропочвенного районирования территории, знания рельефа местности, полной характеристики свойств почв, фитосанитарной обстановки в полях севооборотов, биологического потенциала возделываемых культур;

- экономическая и энергетическая целесообразность технологии. Принцип определяет максимальный объём производства продукции на единицу расходуемого ресурса. Это достигается как обоснованным набором применяемых агротехнических приёмов, так и строго нормируемым расходом материальных ресурсов и живого труда;
- почвозащитная и природоохранная направленность. Принцип требует применения таких технологий производства, которые бы совсем исключали или сводили к минимуму деградационные процессы почв, загрязнение поверхностных, дренажных вод остатками удобрений, пестицидов, солями тяжёлых металлов и т.д. и в конечном счёте позволяли получать экологически безопасную продукцию.

Все вышеназванные типы технологий должны обладать высоким почвозащитным и природоохранным эффектом за счёт введения в технологии почвозащитных приёмов и научно-обоснованного применения доз удобрений и других препаратов химического происхождения [1].

Сохранение и повышение плодородия почв - одна из наиболее важных проблем человечества. Почва является определяющим компонентом агроэкосистемы. Естественная растительность (совместно с микрофлорой) сформировала почвы с определенным уровнем плодородия. Растения защищают почву от разрушения эрозией, поставляют энергию для биохимических процессов, обеспечивают жизнедеятельность микрофлоры и фауны, определяют параметры обмена веществ и энергии в системе почва-атмосфера. После отмирания растений и накопления азота в форме

вторичных органических соединений (гумуса) возрастает плодородие почвы [33].

Гумусное состояние почв - важнейший показатель количественной оценки плодородия, объединяющий в себе ряд свойств почв. С гумусными веществами связаны многие условия жизни растений, которые отражают в свойствах почвенного профиля: мощность и богатство гумусного профиля, пригодность к сельскохозяйственному использованию, реакция среды, физическое состояние почвенной массы, ее биохимическая активность и т.д. Поэтому, оценивая гумус почв, мы оцениваем сразу многие почвенные характеристики [5].

Гумус играет большую роль в почвообразовании и развитии плодородия. Гумусовые вещества и промежуточные продукты разложения органических остатков интенсивно разрушают минералы, извлекают из них элементы питания, образуют с продуктами разрушения минералов много подвижных органо-минеральных соединений, которые передвигаются по толще почвы и участвуют в формировании ее профиля [30; 31].

Гумус активизирует биохимические и физиологические процессы, повышает обмен веществ и общий энергетический уровень процессов в растительном организме, способствует усиленному поступлению в него элементов питания, что в конечном итоге сопровождается повышением продуктивности культур.

При интенсивном земледелии особое значение приобретает способность гумуса снимать отрицательное действие на растения высоких и сверхвысоких доз минеральных удобрений. Общая особенность обогащенных гумусом почв заключается в повышении устойчивости водно-пищевого режима, своеобразной буферности почв по отношению к внешним факторам, что снижает зависимость урожаев от погодных условий, повышает устойчивость земледелия. Почва с оптимальным характером гумуса должна быть максимально устойчива к действию разрушительных факторов (эрозии, дефляции) или других процессов, снижающих плодородие [3].

Проблема деградации гумусного состояния почв особенно остра в Белгородской области, где природные условия и предельная земледельческая освоенность территории благоприятствуют развитию интенсивной эрозии. Высокая эродированность присуща черноземам выщелоченным, типичным, обыкновенным, а также серым и темно-серым лесным почвам, составляющим основной земледельческий фонд области.

Смыв почв резко отрицательно влияет на их производственные способности, так как уменьшает мощность гумусного горизонта. Масштабы потерь гумуса, сокращения гумусного горизонта, разрушения энергетического потенциала почв Белгородской области за счет эрозии достигли значительных размеров [3].

Гумус является важнейшим показателем количественной оценки плодородия. Его распределение по глубине определяет мощность гумусового слоя, который выражает степень эродированности почв. Этот показатель служит основным критерием при выделении границы линейного рубежа при проектировании почвозащитных мероприятий.

Различные растения (группы растений) предъявляют неодинаковые требования к почвенным условиям. Поэтому при оценке плодородия почвы по показателям ее свойств и режимов необходимо учитывать требования конкретных растений. Показатели свойств и режимов почвы изменяются во времени и зависят от сезонных циклов почвообразования, приемов воздействия на почву и длительности ее сельскохозяйственного использования. Это обстоятельство - одна из причин, определяющих необходимость регулирования почвенного плодородия [18].

Почва и растительность не отделимы друг от друга, тесно, неразрывно взаимосвязаны между собой. Почвы определяют характер растительности, ее состав. В свою очередь растительность оказывает влияние на почву, ее свойства и плодородие. Как без почвы не может быть растительности, так и без растительности не может быть почвы. Единство растительности и почвы - основа адаптивного сельскохозяйственного



производства. Адаптация земледелия к местным условиям - исторический процесс, который складывался веками. Возникающие повсеместно экологические эксцессы свидетельствуют о том, что изменение природных экосистем человеком не должно нарушать сложившиеся природные потоки веществ и энергии сверх экологически допустимых пределов и потенциальной способности агроэкосистем к саморегуляции. В земледелии важным является максимальное использование адаптивного потенциала растений с минимальными затратами невозобновляемой энергии.

В последние десятилетия ускорилась деградация почв. Интенсификация сельскохозяйственного производства сопровождается дегумификацией, закислением и засолением, уплотнением тяжелой техникой пахотного и корнеобитаемого слоев почвы: снижается биологическая активность почвы. В большинстве промышленно развитых районов происходит загрязнение тяжелыми металлами и токсическими соединениями. Обрабатываемые почвы на большой площади подвержены водной и ветровой эрозии [33].

Успешная работа земледелия зависит от рационального и, в первую очередь, дифференцированного использования природных ресурсов. Адаптивные агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур должны полностью соответствовать условиям, складывающимся в пределах каждой экологически однородной ландшафтной полосы (агрофации).

#### **1.4. Роль землеустройства в формировании ландшафтного точного земледелия**

Роль землеустройства в формировании ландшафтного точного земледелия значительна. Однако, теперь больше говорится о ландшафтном устройстве территории для земледелия. Землеустройство направлено главным образом на решение вопросов охраны использования земель. При нем решаются вопросы размещения хозяйственных центров, трансформации

угодий, устройства севооборотов, размещения лесных полос, дорог, организации и размещения пастбищеоборотов, проектируются мероприятия по улучшению земельных угодий. Однако при этом недостаточно, а часто вообще не рассматривается вопрос, в каком соотношении все эти составные части и элементы должны быть, чтобы обеспечить экологически устойчивую агросреду. Слабо решаются вопросы экологически устойчивой структуры земельных угодий и всех компонентов среды, улучшения водного и теплового режимов воспроизводства плодородия почв, смягчения засух, уменьшения эрозии. В землеустройстве преобладает покомпонентный подход к использованию природных ресурсов, хотя все компоненты органически взаимосвязаны и имеют множественное значение. Такой компонентно-отраслевой подход обуславливает «конкурентный» характер использования одного ресурса относительно другого. Устройство ландшафтов предполагает решение всего того, что делается при организации территории, и, кроме того, определяет оптимальную структуру и соотношение земельных угодий и сельскохозяйственных культур, находит равновесное состояние всей агросреды на территории с учетом механизма экологического взаимодействия отдельных составных частей и элементов землеустройства. Следовательно, при устройстве ландшафтов создаются оптимальная и экологически устойчивая среда для производственной деятельности человека, полевые и другие биоценозы,

Стимулирующие рост сельскохозяйственных культур (подбираются их сочетания в севооборотах, вводятся полосные посевы в совокупности с древесной и кустарниковой растительностью), т.е. глубже решаются задачи адаптивного земледелия, гетерогенности агроэкосистем и другие вопросы ландшафтной экологии.

Наконец, что очень важно при устройстве агроландшафтов, вся территория делится на ландшафтные агроэкосистемы, т.е. на «самостоятельные» территориальные комплексы, территориальные единицы, в которой относительно обособленно функционируют режимы -

пищевой, водный, тепловой и др. Управление этими режимами в рамках ландшафтных агроэкосистем - узловой момент нового подхода к формированию эколого-ландшафтных систем земледелия.

Выделение экологически однородных участков (агрофаций) по пищевому, водному, тепловому и ветровому режимам, означает:

- однородность почв. При этом учитывается бонитет почвы по однородности (требований сельскохозяйственных культур к почвам, а также степень эродированности земель);
- однородность морфологии поверхности (рельефа), в т.ч. крутизны, экспозиции и формы склонов;
- однородность геологического строения (тип и мощность почвообразующих пород, глубина залегания водоупорных горизонтов);
- однородность условий увлажнения, зависящая от почв, устроенности территории, рельефа;
- однородность микроклиматической зональности, зависящая от рельефа и влияния окружающей среды (лесных и других угодий, водоемов);

Перечисленные требования в значительной мере учитываются в картограммах классов земель по эрозионной опасности, которые используются в проектировании экологически однородных участков.

В связи с большим разнообразием природных условий (почв, рельефа, микроклиматических и др.) земли используются дифференцированно. Поэтому необходимо территорию расчленить по экологически однородным участкам, удобным и для механизированных процессов. Такие участки также необходимы и для дифференцированных комплексов мелиорации, и кадастровой оценки земель. При формировании первичных территориальных единиц (при выделах участков) совмещается решение задач: выделения экологически однородных участков в увязке с необходимой сетью лесных полос, обеспечения формы и размера участков для механизированных работ,

обеспечения дорожной сетью. Таким образом, при устройстве агроландшафтов расчленение территории не сводится к выделу «рабочих участков» лишь для борьбы с эрозией и удобства механизации работ, как это сложилось в прошлом [33].

## **ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

## 2.1. Физико-географическая характеристика изучаемой территории

Исследования проводили в юго-западной провинции лесостепной зоны Центрального Черноземья. Район расположен на южных и юго-западных склонах Средне-Русской возвышенности, расчленённой речными долинами, балками, оврагами.

На территории Губкинского района Белгородской области расположен один из шести уцелевших в мире участков плакорной луговой степи – Ямская степь, входящая в состав заповедника «Белогорье». Для сохранения видового разнообразия растений здесь соблюдаются два режима: сенокосооборотный и абсолютнозаповедный (некосимый). Кроме того некосимые участки ежегодно обкашиваются по периметру. Эти территории были выделены по инициативе В.В. Алехина уже в первые годы заповедования Ямской степи для изучения процессов развития целинной растительности при полном изъятии ее из хозяйственного использования. На этих участках в течение ряда лет накапливались нескосываемые растительные остатки – ветошь, значительно изменившая экологический режим и растительность [35].

Следствием различий, которые имеют место между разными режимами, являются фенологические особенности растений. На площадях с абсолютнозаповедным режимом весной из-за задержания большого количества снега ветошью, более позднего его схода и наличия слоя степного войлока, почва прогревается медленнее, и развитие видов растений здесь может существенно отставать от аналогичных видов, произрастающих на площадях с режимом сенокоса. Даже визуально хорошо заметны различия в составе травостоев, смене аспектов.

«Ямской степью» многие десятилетия именовался участок Центрально-Черноземного заповедника, один из наиболее удаленных от его усадьбы под Курском. Теперь эта территория, фактически лежащая в пределах Белгородской области, относится к заповеднику «Белогорье».

Площадь участка составляет 566 га, одна четверть из них (по периферии) занята лесной и кустарниковой растительностью, остальная – лугово-степной. Список флоры Ямской степи, по последним данным, включает около 700 видов.

Луговая степь приурочена к водоразделу двух рек, которые принадлежат бассейну реки Оскол – Чуфички и Дубенки. На территории участка выделяется огромное многообразие форм и типов рельефа, на которых приурочены разнообразные ландшафтные урочища. Их классификация позволила упорядочить описание растительности и почвенного покрова. Выделяются типы урочищ: 1) очень крутые склоны верховьев балок, 2) крутые нижние части склонов верховьев балок, 3) пологие склоны балок, 4) очень пологие склоны балок, 5) водораздельные поверхности и приводораздельные склоны, 6) склоны балок. Особое выделение верховьев балок определяется их структурной спецификой. Генетически они маркируют наиболее хорошо выраженные приповерхностные трещины в меловом фундаменте.

При анализе форм рельефа на территории участка «Ямская степь» следует отметить, что западные и северные склоны более выпуклые и покатые, чем южные и восточные. Они в свою очередь не имеют особой крутизны, почти плоские, переходящие в балки. Такая структурная дифференциация склонов южной и восточной экспозиции является характерной особенностью рассматриваемой территории. На северных и западных склонах крупных балок отмечается система параллельных вогнутых форм, а на южных и восточных такие свойства рельефа отсутствуют, что говорит об асимметрии склонов.

Такая асимметрия формирует рельефную особенность территории, где один склон выпуклый и мелко линейно расчлененный, а на другом наблюдается вогнутость и слабая расчленённость. На южных крутых склонах балок отмечаются выходы мела. Такая асимметрия балочных долин дает основание рассматривать рельеф территории как куэстовоподобный.

Высокая трещиноватость выпуклых склонов маркирует склон куэсты с малой мощностью неоген-четвертичных отложений. Вогнутые склоны подчеркивают слабо деформированный пласт доломитовых отложений, перекрытых неоген-четвертичными отложениями [35].

На территории участка «Ямская степь» четко выражены четыре местных водораздела, которые характеризуются как плосковершинные водораздельные поверхности, с неглубокими седловинами. В южной части первого квартала на абсолютной высоте 222,2 м расположен первый водораздел, имеющий вытянутую в меридиональном направлении форму. В юго-восточной части четвертого квартала отмечается самая высокая абсолютная отметка 230,2 м, к которой приурочена вторая водораздельная поверхность. На территории третьего квартала с абсолютной отметкой 227,4 м находится третий водораздел, который имеет незначительную площадь. Около 15 гектаров занимает четвертая водораздельная поверхность, имеющая вытянутую с северо-запада на юго-восток форму и находящаяся во втором квартале.



*Рис. 2.1.* Пологий склон южной экспозиции на участке «Ямская степь»

Наибольшее распространение получили склоны различной крутизны, формы и экспозиции. На территории выделяются склоны северо-западной, северо-восточной экспозиции. Однако среди доминирующих, можно назвать

склоны северной и южной экспозиции. Как отмечалось выше это склоны выпуклой и вогнутой формы. Уклоны прибалочных склонов варьируют в пределах 0,1-0,7, а крутизна 4-5°. Приводораздельные склоны имеют наименьшую крутизну, а средняя крутизна составляет 2-3°. Несмотря на эти особенности наблюдается небольшая микрораздельная дифференциация склонов. Важной отличительной чертой рельефа участка «Ямская степь» являются линейные эрозионные формы, которые представлены лощинами, балками и оврагами.

Лощины не имеют широкого распространения на территории заповедника. В третьем квартале расположена одна лощина, которая имеет вытянутую форму с юго-востока на северо-запад. Перепад отметок тальвега лощины составляет 19 м. У второй лощины, расположенной у верховьев балки Суры перепад составляет между верховьем и устьем лощины 12 м. Она имеет вытянутую форму в меридиональном направлении. Самое большое распространение лощины получили на макросклоне южной экспозиции. Их устья приурочены к стенкам овражно балочной сети.



*Рис.2.2.* Представительная балка Сура на участке «Ямская степь»

На границе заповедника и тальвегом безымянной балки выделяется балка Сура, самая значительная по протяженности (850м) и по перепаду высот от верховьев к устьевой части, который составляет 34 м по ширине и 34 м по днищу. Эта балка имеет два отвершка, которые имеют



протяженность 200 и 150 м. Небольшую протяженность имеет балка Ямские Лога до 150 м. Самой заметной на территории заповедника является балка Вишняки, протяженность которой составляет 900 м. Ширина по днищу фиксируется на отметке 50 м, перепад высот от верховьев к устьевой части балки составляет 36 м.

Самая агрессивная форма линейной эрозии – овраги находятся в основном в пятом и седьмом кварталах. Их протяженность составляет от 150 до 250 м, а общая протяженность равняется одному километру.

Почвенный покров участка «Ямская степь» представлен черноземами типичными, выщелоченными, оподзоленными, а также темно-серыми лесными почвами. Гумусовый слой этих почв превышает 1 м. Почвы отличаются высокой гумусированностью, комковато-ореховато-зернистой структурой. Почвообразующими породами являются бескарбонатные лессовидные суглинки, элювий меловых пород, делювиальные отложения. Встречаются карбонатные лессовидные суглинки, которые залегают большими массивами в пределах всей территории заповедника. Подстилающими породами являются отложения третичного, мелового и четвертичного периода. Они в значительной степени перекрыты сплошным плащом четвертичных отложений.

Наибольшую площадь занимают черноземы типичные мощные тучные тяжелосуглинистые на лессовидных суглинках. Мощность гумусового горизонта составляет более 1 м, вскипание наблюдается с глубины 60 см. Новообразования в виде псевдомицелия встречаются на глубине более 90 см, содержание гумуса составляет от 8 до 10 %. Распространены на территории черноземы выщелоченные тучные мощные тяжелосуглинистые на лессовидных суглинках. Мощность гумусового горизонта также превышает 1 м, вскипание обнаруживается на глубине 1,2 м. Содержание гумуса варьирует в пределах 10%. Встречаются также черноземы оподзоленные среднегумусные тяжелосуглинистые, которые сформировались вблизи лесных массивов. Отличительной их особенностью является наличие

кремнеземистой присыпки в гумусовом горизонте и отсутствие вскипания по всему профилю. Данные почвы имеют ценность для изучения процесса подзолистого почвообразования и регулирования органического вещества в почве.



*Рис. 2.3* Почвенный разрез чернозема типичного мощного тучного тяжелосуглинистого

Растительность участка «Ямская степь» представляет южный вариант ковыльно-разнотравно-луговой степи. Она включает более 170 видов низших растений и 685 видов высших растений. Травостой на ровных приводораздельных территориях имеет сложное строение и в нем выделяется несколько ярусов. Высоту отдельных ярусов нельзя считать постоянной, так как они в зависимости от климатических условий года могут сильно колебаться, однако соотношение в пространственном расположении наземных органов растений, составляющих определенные ярусы, обычно сохраняется и является закономерным. Характерной особенностью участка «Ямская степь» является развитие кустарниковых зарослей или отдельно

стоящих деревьев. Встречаются разбросанные по степи деревья дикой груши, яблони, боярышника. На склонах встречаются заросли дуба, клена, ясеня.

## 2.2. Объект и методы исследования

Исследования проводили на прямом пологом склоне юго-западной экспозиции крутизной от 1 до 4°. Ключевые участки расположены в третьем квартале. Изучаемыми объектами являлись черноземные почвы, приуроченные к пространственно сопряженным угодьям: пашне и степному заповедному участку (целине).

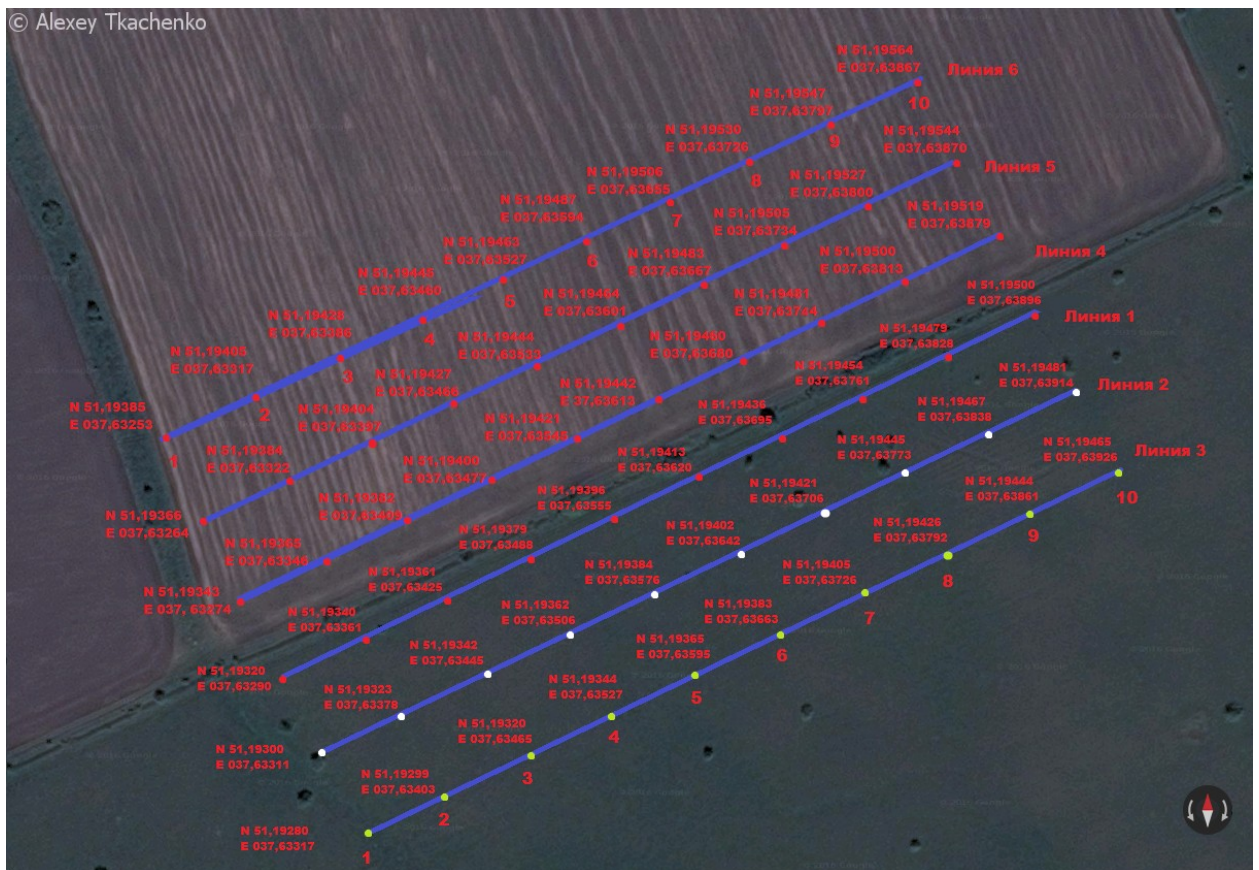


Рис. 2.4. Схема опыта (космический снимок)

На 6 катенах было заложено 60 скважин, глубиной до 1 м. Расстояние между линиями катен 50 метров, расстояние между точками по катене также 50 м. Образцы почвы для анализа отбирались по слоям: 0-20 см, 20-40 см,

40-60 см, 60-80 см, 80-100 см. Всего было проанализировано 300 образцов (рис. 2.4, 2.5).

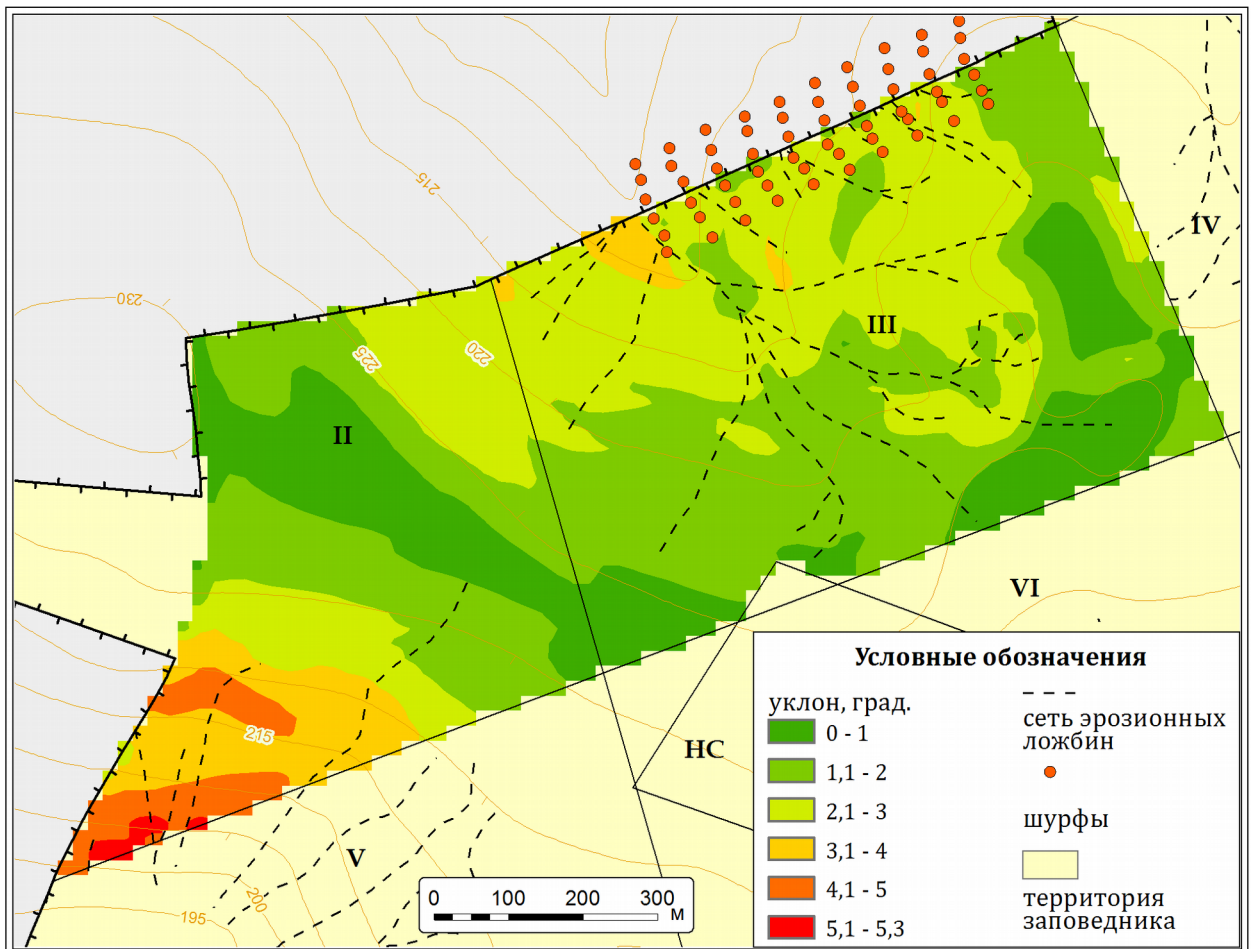


Рис. 2.5. Расположение точек по крутизне склона

Основными методами исследования являлись: генетического анализа почвенного профиля, сравнительно-географический, оценки гумусного состояния почв.

Для более наглядного представления пространственного распределения органического вещества в условиях эрозионного ландшафта были использованы программные средства ArcGIS. Картограмма была выполнена методом кригинга, использовалась модель вариограммы – Гауссова. Полученная тематическая карта по содержанию гумуса в почвах на разных глубинах отбора даёт более широкие возможности в изучении закономерностей его распределения в пространстве.

Подготовка почвы к определению гумуса проводилась по стандартной методике. Химический анализ почвы по определению содержания гумуса по методу Тюрина проводился в соответствии с ГОСТ 2613-93.

Для статистических расчетов были применены следующие методики:

- выбор статистических критериев для сравнения нескольких выборок выполнен в соответствии с рекомендациями Гржибовского и др. [10, 11],
- проверка распределения выборок на нормальность рассчитана при помощи критерия Шапиро-Уилка [10, 57],
- проверка однородности дисперсий выборок осуществлена при помощи непараметрического критерия Флигнера,
- непараметрический дисперсионный анализ выполнен при помощи критерия Краскела-Уоллиса [53];
- множественные сравнения между всеми трасектами выполнены при помощи критерия Манна-Уитни (тест Вилкоксона для независимых выборок) [54,57, 61],
- коррекция р-значений (поправка на множественные сравнения) осуществлена по методу Бонферрони.

### **ГЛАВА 3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ЭРОЗИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

### **3.1. Особенности влияния длительной разновременной распашки на содержание гумуса в почвах полярных катен**

Структура почвенного покрова изменяется под воздействием антропогенных факторов. Наиболее значимым из них является вековая распашка ландшафтов, которая приводит к изменению компонентного состава почвенного покрова и появлению антропогенно-модифицированных почв. Воздействие длительной распашки на почвы вызывает однонаправленный процесс деградации. Изучение направления данного явления и стадии его изменения является важным аспектом в современном почвоведении. Проблема агротехнической трансформации лесостепных почв требует изучения и мониторинга их состояния.

Для более детального анализа этого процесса в 2014-2015 году были проведены исследования в урочище Батрацкая дача. Участок расположен на приводораздельных склонах, где сформировались лесостепные почвы, приуроченные к пространственно сопряженным угодьям: пашням разных сроков освоения и лесным угодьям.

В процессе изучения этого вопроса был применен метод, который позволил сопоставить содержание гумуса в катенарных сопряженных лесостепных почвах, выявить микрозональную дифференциацию на контрастных склонах в почвах и установить влияние разновременной вспашки на данный показатель.

Содержание гумуса в почвах на различно ориентированных склонах зависит от соотношения между процессами накопления и его убылью. Почвы на склонах южной экспозиции характеризуются меньшим его содержанием по сравнению с почвами, которые сформировались в условиях северной экспозиции. На северных склонах происходит постепенное уменьшение содержания гумуса с глубиной, а на южных склонах такая тенденция не наблюдается, вследствие резкого падения гумуса с глубиной.

При анализе гумусного состояния представляется важным провести оценку изменения содержания гумуса в почвах катен, как одного из основных параметров почвенного плодородия.

Результаты исследований показали, что среднее содержание гумуса в метровом слое почвы на лесном участке по катене северной и южной экспозиции составляло 2,72 % (табл. 3.1). Варьирование показателя невысокое, коэффициент вариации колеблется от 12 до 20 %.

**Таблица 3.1**

**Среднее содержание гумуса (%) в метровом слое почвы в сопряженных катенах**

	Северная экспозиция			Южная экспозиция		
	лес	Пашня 100 лет	Пашня 150 лет	лес	Пашня 100 лет	Пашня 150 лет
Среднее по катене	<b>2,72</b>	<b>1,89</b>	<b>2,13</b>	<b>2,72</b>	<b>2,26</b>	<b>1,92</b>
Кoeff.вар, %	20	8	16	12	19	16
Стандартное отклонение	0,56	0,16	0,34	0,34	0,42	0,31
Ошибка средней	0,21	0,05	0,12	0,13	0,16	0,12
Доверительный интервал, %	2,19- 3,23	1,74- 2,03	1,77- 2,41	2,4-3,05	1,79-2,57	1,64- 2,21

Длительное антропогенное воздействие на почвы создает дефицит поступления свежих органических остатков в почвенный профиль, что привело к значительному изменению содержания гумуса в условиях использования пашни в течение 100 летнего периода. Средний показатель на катене в условиях северного направления составляет 1,89 %, на катене южного направления 2,26 %. Коэффициент вариации в первом случае равен

8 %, что говорит о незначительном варьировании признака, во втором случае он составляет 19 %, при этом отмечается небольшое варьирование показателя (табл.3.1).

С увеличением возраста распашки до 150 лет на катене северной экспозиции наблюдается тенденция к увеличению содержания гумуса до 2,13 %, по сравнению с 100 летним периодом (1,89 %). В почвах катены южной экспозиции отмечается дегумификация в метровой толще (1,92 %) по мере увеличения сроков земледельческого освоения до 150 лет. Варьирование показателя небольшое и составляет 16 %. Наиболее интенсивная минерализация гумуса в почвах катены южной экспозиции на пашне не единственная причина ухудшения гумусного состояния почв. Необходимо отметить негативное влияние на убыль гумуса поверхностного стока, который вовлекает твердую фазу почвы с илистыми фракциями, в которых закрепляется органическое вещество. Такой вывод подкрепляется данными по содержанию гумуса в почвах катен лесных участков, где процессы эрозии практически не выражены так интенсивно, как на пашне, и там наблюдается стабильное содержание гумуса, как в условиях южной, так и северной экспозиции.

Основным источником образования гумуса являются органические остатки. Существует взаимосвязь между содержанием растительной биомассы и содержанием гумуса. Главная масса корней сосредоточена в слое 0-30 см. Среднее содержание гумуса в почвах на катене южной и северной экспозиции в лесном участке составляет 4,56 и 4,51 %. Отмечается средняя изменчивость признака до 26 % в условиях катены северной экспозиции, и небольшая (18 %) в почвах катены южной экспозиции (табл. 3.2).

**Таблица 3.2**

**Среднее содержание гумуса (%) в 0-30 см слое почвы в сопряженных катенах**



	Северная экспозиция			Южная экспозиция		
	лес	Пашня 100 лет	Пашня 150 лет	лес	Пашня 100 лет	Пашня 150 лет
Среднее по катене	4,51	2,72	3,25	4,56	3,38	2,94
Коэфф.вар, %	26	11	12	18	19	10
Стандартное отклонение	1,19	0,3	0,38	0,81	0,66	0,28
Ошибка средней	0,44	0,11	0,15	0,3	0,27	0,11
Доверительный интервал	3,41- 5,60	0,29- 3,14	2,62- 3,89	3,42-5,7	2,29- 4,46	2,55- 3,34

В зависимости от времени использования под пашней (100 лет) этот показатель на катене северной экспозиции уменьшился до 2,72 % , на катене южной экспозиции до 3,38 %. В 0-30 см слое на пашне 150 летнего периода использования в почвах катены северной экспозиции гумуса содержалось больше (3,25 %), чем в условиях векового использования пашни. На катене южной экспозиции содержание гумуса заметно снижалось и составляло 2,94 % (табл. 3.2).

Таким образом, в верхнем 0-30 см слое сохраняется такая же закономерность содержания гумуса на катенах южной и северной экспозиции в зависимости от длительности земледельческого использования, как и в метровом слое.

Проведенная оценка значимости между средними значениями содержания гумуса в метровом слое почвы полярных катен показывает, что на лесном участке между показателями нет разницы. На пашне 100 летнего периода использования отмечается незначительная разница в содержании гумуса. На участке пашни при более длительном (150 лет) периоде

использования разница между показателями существенная, это говорит о том, что происходит достоверное уменьшение содержания гумуса в почвах катены южной экспозиции, по сравнению с северной (табл. 3.3). Как отмечалось выше, склоны южного направления наиболее подвержены процессам водной эрозии. На процесс минерализации гумуса накладываются еще и это негативное явление.

**Таблица 3.3**

**Оценка значимости различий средних показателей гумуса в слое 0-100 см в условиях полярных катен при одновременном земледельческом освоении по критерию НСР при уровне вероятности 95%**

Варианты	показатели		разница	НСР	Оценка разницы
	$X_1$	$X_2$			
Лес: Южная ( $X_1$ ) и северная экспозиции ( $X_2$ )	2,72	2,72	0	-	Нет разницы
Пашня 100 лет: Южная ( $X_1$ ) и северная экспозиции ( $X_2$ )	2,26	1,89	0,37	0,51	Не существенная
Пашня 150 лет: Южная ( $X_1$ ) и северная экспозиции ( $X_2$ )	1,92	2,13	0,21	0,19	существенная

Оценка значимости различий по содержанию гумуса в метровом слое в условиях катены северной экспозиции выявила существенное различие между средними показателями на лесном участке и пашней (100 лет) (табл. 3.4). При 100 летнем земледельческом освоении отмечаются усиленные деграционные процессы гумусного состояния в почвах катены северной экспозиции

Таблица 3.4

**Оценка значимости различий по содержанию гумуса в слое 0-100 см в условиях катены северной экспозиции по критерию НСР при уровне вероятности 95%**

Варианты	показатели		разница	НСР	Оценка разницы
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>			
Лес (X <sub>1</sub> )-пашня 100 лет (X <sub>2</sub> )	2,72	1,89	0,83	0,53	Существенная
Лес (X <sub>1</sub> )– пашня 150 лет (X <sub>2</sub> )	2,72	2,13	0,59	0,68	несущественная
Пашня 100 лет (X <sub>1</sub> ) - пашня 150 лет (X <sub>2</sub> )	1,89	2,13	0,24	0,44	несущественная

При сравнении средних показателей гумуса на участках под лесом и пашней с возрастом земледельческого освоения 150 лет не обнаружена существенная разница между этими вариантами. Не выявлена разница между пашней 100 и 150 летнего периода использования. В условиях катены северной экспозиции достоверное изменение показателя отмечается в ряду лес-пашня 100 лет, в остальных случаях изменение параметров не существенно.

В почвах катены южной экспозиции в ряду лес-пашня 100 лет отмечается несущественная разница между средними значениями содержания гумуса (табл. 3.5). С увеличением периода земледельческого освоения (150 лет) наблюдается достоверное снижение гумуса в почвах по сравнению с данными, полученными на катенах в лесных участках. За период в 150 лет в почвах катены южной экспозиции происходит заметная дегумификация.

Не выявлена разница между исследуемыми параметрами в почвах на разновозрастной пашне (100 лет-150 лет) (табл. 3.5).

Таблица 3.5

**Оценка значимости различий по содержанию гумуса в слое 0-100 см в условиях катены южной экспозиции по критерию НСР при уровне вероятности 95%**

Варианты	показатели		разница	НСР	Оценка разницы
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>			
Лес-пашня 100 лет	2,72	2,26	0,46	0,61	Несущественная
Лес – пашня 150 лет	2,72	1,92	0,80	0,28	Существенная
Пашня 100 лет- пашня 150 лет	2,26	1,92	0,34	0,62	несущественная

Таким образом, комплексный анализ изменения во времени содержания гумуса в почвах по пространственно сопряженным угодьям: пашням разных сроков освоения и лесным угодьям показал, что в почвах катены северной экспозиции в метровом слое наблюдается достоверное уменьшение гумуса после векового земледельческого освоения. При более длительном периоде (150 лет) сельскохозяйственного использования среднее содержание гумуса в почвах увеличилось несущественно.

В почвах катены южной экспозиции отмечается постепенное уменьшение содержания гумуса в зависимости от времени распашки, в этом случае наблюдается процесс нарастающей деградации. Наиболее достоверное его уменьшение отмечается в ряду лес-пашня 150 лет.

### **3.2. Количественная оценка распределения органического вещества в почвах эрозионных ландшафтов методами описательной статистики**

Для более детального анализа изменений содержания гумуса в почвах эрозионных ландшафтов был применен метод сопряженных катен на заповедной территории и на пашне, период распашки которой насчитывается 100 лет. Задача исследования состояла в том, чтобы на одной форме

мезорельефа изучить пространственную неоднородность почвенного покрова. Эрозионные ландшафты имеют неоднородную структуру в результате денудационных процессов. Однако в условиях целины эта неоднородность должна сглаживаться за счет постоянного притока свежего органического вещества. На пашне неоднородность должна усиливаться вследствие интенсивной минерализации органического вещества и эрозионных процессов.

Современная сельскохозяйственная освоенность ландшафтов лесостепи Среднерусской возвышенности составляет более 60 % от общей площади, поэтому распашка является одним из основных и более длительным агротехническим фактором, влияющим на почвы.

Основным источником образования гумуса являются органические остатки. Существует взаимосвязь между содержанием растительной биомассы и содержанием гумуса. При анализе гумусного состояния представляется важным провести оценку изменения содержания гумуса в почвах катен, как одного из основных параметров почвенного плодородия.

Результаты исследований показали, что среднее содержание гумуса в метровом слое почвы на заповедном участке по катенам составляло 5,48 %. Длительное антропогенное воздействие на почвы создает дефицит поступления свежих органических остатков в почвенный профиль, что привело к значительному изменению содержания гумуса в условиях использования пашни. Средний показатель в почвах на катенах в условиях пашни составляет 4,48 % (табл. 3.6).

**Таблица 3.6**

**Среднее содержание гумуса в почвах эрозионных ландшафтов на пашне и в условиях целины**

Слой почвы, см	Среднее содержание гумуса, %		Разность значений
	целина	пашня	
0-20	9,05	6,87	2,18
20-40	6,27	5,68	0,59
40-60	4,83	4,26	0,57

60-80	4,13	3,19	0,94
80-100	3,15	2,42	0,73
Среднее по катенам	5,48	4,48	1,00

Главная масса корней сосредоточена в слое 0-20 см. Среднее содержание гумуса в почвах заповедного участка составляет 9,05 %, в почвах пашни – 6,87 %. Далее по профилю наблюдается постепенное снижение показателей, однако в условиях пашни этот процесс более заметен, чем на целине. Для установления такой закономерности был проведен статистический анализ полученных данных.

Таблица 3.7

## Содержание гумуса на глубине 0- 20 см

Катен а	Объем выборк и	Миниму м	Среднее	Максиму м	СКО	КВ, %
1	10	7,75	9,04±0,2 5	10,70	0,79±0,1 8	8,72±2,76
2	10	7,85	9,34±0,2 7	10,65	0,84±0,1 9	9,04±2,86
3	10	7,19	8,76±0,2 8	10,12	0,90±0,2 0	10,30±3,2 6
4	10	5,43	6,61±0,1 7	7,42	0,54±0,1 2	8,13±2,57
5	10	6,23	6,99±0,2 3	8,86	0,74±0,1 7	10,60±3,3 5
6	10	6,45	7,03±0,1 8	8,26	0,55±0,1 2	7,88±2,49

Описательная статистика содержания гумуса для выборок, сгруппированных по глубинам и линиям отбора, приведена в таблицах 3.7 - 3.11.

Средний показатель на катенах на глубине 0-20 см варьирует от 6,61 % до 9,04 %. Коэффициент вариации изменяется в пределах от 7,88 % до 10,60 %, что говорит о незначительном варьировании. В почвах на катенах, заложенных на целине максимальное содержание гумуса составляет от 10,12 % до 10,70 %, на пашне эти показатели соответственно ниже – от 8,26 % до 7,42 %. Разница между значениями содержания гумуса на целине и пашне составляет 1,86 – 3,28 %. Отмечается высокое поступление органического вещества с растительными остатками на целинных почвах. В агроценозах не обеспечивается достаточное их накопление, поэтому в верхнем слое заметна дифференциация по содержанию гумуса.

С глубиной содержание гумуса заметно снижается. В слое 20-40 см среднее значение по катенам колеблется в интервале от 5,12 до 6,38 % (табл. 3.8). Заметно нарастание варьирование признака. Наибольшее значение отмечается на пашне 4 – ой катены – 16,07 %. Максимальные показатели находятся на одном уровне, как в условиях целины, так и пашни 6,61 – 7,38%.

**Таблица 3.8**

**Содержание гумуса на глубине 20-40 см**

Катен а	Объем выборк и	Миниму м	Среднее	Максиму м	СКО	КВ, %
1	10	5,06	6,16±0,2 3	7,35	0,74±0,1 7	11,99±3,7 9
2	10	4,76	6,38±0,2 3	7,29	0,73±0,1 6	11,46±3,6 2
3	10	4,88	6,29±0,2 3	7,31	0,73±0,1 6	11,65±3,6 8
4	10	4,03	5,12±0,2 6	6,61	0,82±0,1 8	16,07±5,0 8
5	10	4,77	5,86±0,2 1	7,03	0,66±0,1 5	11,19±3,5 4
6	10	5,13	6,06±0,2	7,38	0,78±0,1	12,79±4,0

			6		7	4
--	--	--	---	--	---	---

С увеличением глубины почвы от 40 до 60 см содержание гумуса заметно падает. Среднее значение изменяется по катенам от 3,72 до 4,89 %. Возрастает варьирование признака. Коэффициент вариации составляет в почвах катен на пашне 13,78 – 21,11 %, от небольшого варьирования до среднего. В условиях целины этот показатель имеет незначительное и небольшое варьирование (9,09 – 14,72 %).

Таблица 3.9

## Содержание гумуса на глубине 40-60 см

Катен а	Объем выборки	Минимум м	Среднее	Максимум м	СКО	КВ, %
1	10	3,68	4,89±0,2	6,20	0,72±0,1	14,72±4,6
			3		6	5
2	10	4,29	4,89±0,1	5,75	0,45±0,1	9,09±2,88
			4		0	
3	10	3,25	4,72±0,1	5,43	0,58±0,1	12,34±3,9
			8		3	0
4	10	2,74	3,72±0,1	4,44	0,51±0,1	13,78±4,3
			6		2	6
5	10	2,82	4,42±0,3	5,81	0,93±0,2	21,11±6,6
			0		1	8
6	10	4,13	4,65±0,2	6,29	0,71±0,1	15,19±4,8
			2		6	0

На этой глубине в почвах целины еще выделяется гумусовый горизонт, вследствие значительной его мощности. В условиях пашни на этой глубине отмечается переход от гумусового горизонта к переходному. Поэтому варьирование имеет повышенные значения (табл. 3.9).



Среднее содержание гумуса в почвах в условиях целины на глубине 60-80 см составляет 3,91 – 4,31 %. Максимальное содержание показателя отмечается в пределах 5,03 – 5,51 %, минимальное 2,61 - 3,36 %.

Таблица 3.10

## Содержание гумуса на глубине 60-80 см

Катен а	Объем выборки	Минимум	Среднее	Максимум	СКО	КВ, %
1	10	2,50	4,19±0,2 7	5,34	0,85±0,1 9	20,18±6,38
2	10	3,36	4,31±0,1 9	5,51	0,60±0,1 4	14,04±4,44
3	10	2,61	3,91±0,2 0	5,03	0,64±0,1 4	16,45±5,20
4	10	1,16	2,94±0,2 8	4,08	0,90±0,2 0	30,53±9,65
5	10	1,33	3,03±0,3 1	4,61	0,98±0,2 2	32,17±10,1 7
6	10	3,14	3,62±0,1 6	4,90	0,50±0,1 1	13,88±4,39

В почвах пашни среднее содержание гумуса уменьшается от 2,94 до 3,62 %. Заметно ниже и максимальный показатель: он изменяется от 3,68 до 3,94 %, минимальный от 1,33 до 3,14 % . Отмечается среднее варьирование признака. Однако коэффициент вариации по содержанию гумуса в почвах

целины изменяется от 14,04 % до 20,18 %, то в почвах пашни заметно его увеличение до 30,53 – 32,17 % (табл. 3.10).

Таблица 3.11

## Содержание гумуса на глубине 80-100 см

Катена	Объем выборки	Минимум м	Среднее	Максимум м	СКО	КВ, %
1	10	1,61	2,92±0,2 2	3,94	0,70±0,1 6	23,93±
2	10	2,10	3,49±0,1 9	4,14	0,61±0,1 4	17,60±
3	10	1,57	3,06±0,2 2	4,44	0,71±0,1 6	23,05±
4	10	0,83	2,11±0,2 7	3,68	0,84±0,1 9	39,87±
5	10	1,09	2,28±0,2 7	3,94	0,84±0,1 9	36,75±
6	10	1,73	2,88±0,2 3	3,68	0,74±0,1 6	25,50±

Содержание гумуса на глубине 80 - 100 см варьирует в почвах катен на целине от 1,57% до 4,44 %, среднее содержание показателя изменяется в пределах 2,92 % - 3.49 %. В почвах катен, расположенных на пашне, эти величины значительно меньше и составляют от 0,83 до 3,94 %, среднее содержание колеблется на уровне 2,11 – 2,88 %. При этом коэффициент вариации в целинных почвах показывает среднее варьирование (17,6 – 23,93 %), в почвах пашни ближе к высокому варьированию (39,87 %) (табл. 3.11).

Графическое отображение этих данных показано на рисунке 3.1. Видно, что содержание гумуса уменьшается с глубиной по всем линиям отбора образцов почвы. Это характерно как для пашни, так и для целинной степи. Для практически любой линии отбора на пашне, содержание гумуса меньше, чем у любой линии в целинной степи на этой же глубине.

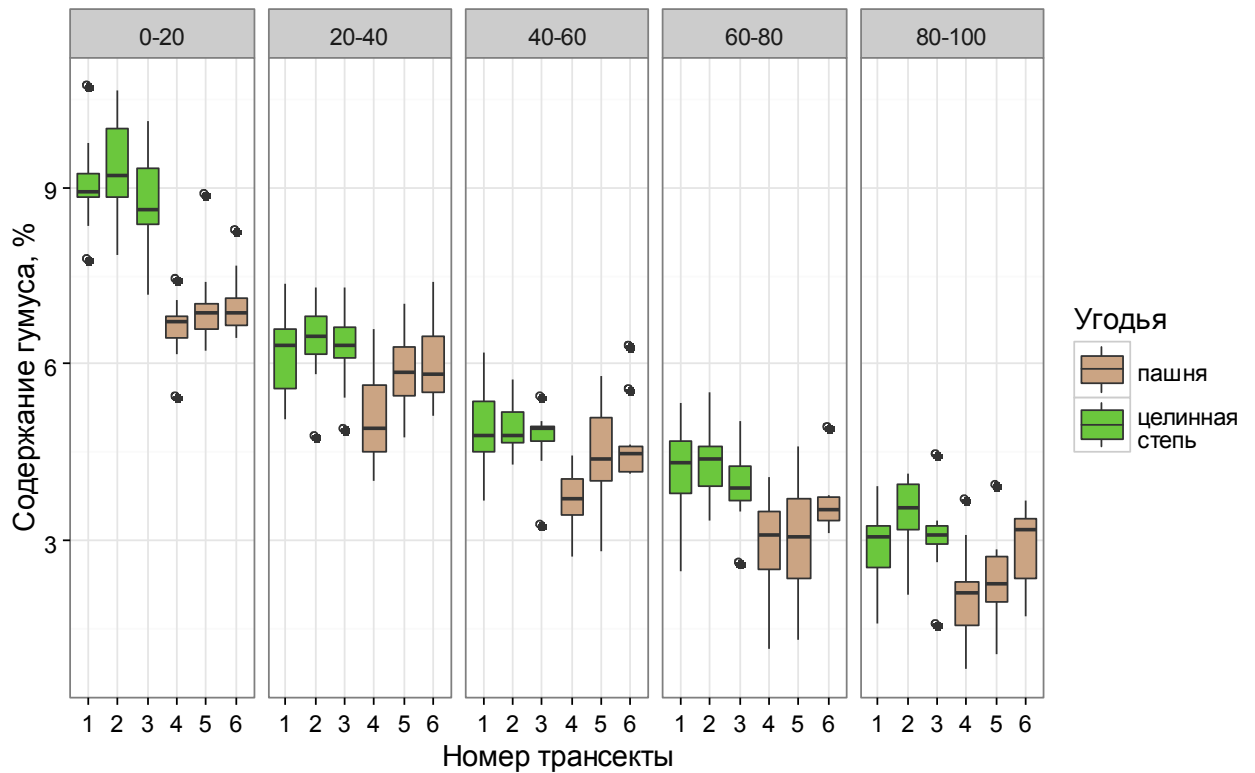


Рис. 3.1. Диаграммы размахов содержания гумуса для выборок, сгруппированных по глубинам и по линиям отбора

Для того, чтобы можно было различия, обнаруженные в выборках, перенести на генеральную совокупность, необходимо подтвердить их статистическую значимость. Для анализируемых выборок следует применять непараметрические методы сравнения. Это связано с малым размером выборок. При группировке выборок по линиям отбора (трансектам) размер выборки составляет 10 образцов для каждого горизонта.

Выбор статистических критериев для сравнения нескольких выборок сделан в соответствии с рекомендациями Гржибовского и др. [11, 39]. Статистические тесты, предваряющие сравнение выборок (проверка на нормальность распределения и проверка однородности дисперсий выборок), осуществлены в соответствии с протоколом разведочного анализа данных [63]. Проверка распределения выборок на нормальность выполнена при помощи критерия Шапиро-Уилка [10,57]. Ее результаты приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12

**Результаты проверки отклонения распределения выборок от  
нормального при помощи критерия Шапиро-Уилка**

Глубина, см	Линия	Значение W- критерия	p-значение	Характер распределени я
0-20	1	0,94	0,52	нормальное
	2	0,97	0,86	нормальное
	3	0,96	0,94	нормальное
	4	0,94	0,49	нормальное
	5	0,80	0,02	ненормальное
	6	0,86	0,08	нормальное
20-40	1	0,96	0,79	нормальное
	2	0,91	0,31	нормальное
	3	0,95	0,69	нормальное
	4	0,96	0,76	нормальное
	5	0,99	1,00	нормальное
	6	0,90	0,20	нормальное
40-60	1	0,99	0,99	нормальное
	2	0,95	0,71	нормальное
	3	0,78	0,01	ненормальное
	4	0,97	0,90	нормальное
	5	0,97	0,89	ненормальное
	6	0,75	0,003	ненормальное
60-80	1	0,96	0,77	нормальное
	2	0,96	0,80	нормальное
	3	0,95	0,67	нормальное
	4	0,93	0,47	нормальное
	5	0,96	0,80	нормальное
	6	0,78	0,01	ненормальное
80-100	1	0,95	0,68	нормальное
	2	0,88	0,13	нормальное
	3	0,88	0,12	нормальное
	4	0,96	0,81	нормальное
	5	0,95	0,61	нормальное
	6	0,88	0,13	нормальное

Согласно им в трех из пяти глубин присутствует хотя бы одна транsekта с распределением, отличающимся от нормального, что указывает

на необходимость применения непараметрических методов для этих случаев. Хотя и для выборок с нормальным распределением необходимо использование этих методов по причине описанной выше.

### **3.3. Статистическая оценка однородности дисперсий выборок количественных показателей пространственного распределения органического вещества в почвах**

Проверка однородности дисперсий выборок осуществлена при помощи непараметрического критерия Флигнера, предназначенного для сравнения дисперсий множества выборок. Результаты этой проверки приведены в таблице 3.13. Согласно им дисперсии содержания гумуса по трансектам статистически значимо не отличаются. С учетом этого, для сравнения выборок можно применить непараметрический дисперсионный анализ выполнен при помощи критерия Краскела-Уоллиса [53].

**Таблица 3.13**

#### **Результаты сравнения дисперсий содержания гумуса по катенам при помощи критерия Флигнера**

Глубина, см	Значение критерия	р-значение
0-20	5,13	0,40
20-40	5,13	0,40
40-60	4,49	0,48
60-80	3,67	0,60
80-100	1,74	0,88

Результаты дисперсионного анализа приведены в таблице 3.14. Они указывают на то, что на всех горизонтах существуют статистически значимые отличия среднего содержания гумуса хотя бы между одной парой трансект. Исходя из этого, имеет смысл провести множественные сравнения между всеми трансектами. Эти сравнения выполнены при помощи критерия Манна-Уитни (тест Вилкоксона для независимых выборок) [54, 61].

**Таблица 3.14**

**Результаты дисперсионного анализа по Краскелу-Уоллису**

Глубина, см	Значение H-критерия	p-значение
0-20	41,81	$6,44 \cdot 10^{-08}$
20-40	41,81	$6,44 \cdot 10^{-08}$
40-60	19,38	0,002
60-80	22,08	0,0005
80-100	18,62	0,002

Коррекция p-значений (поправка на множественные сравнения) осуществлена по методу Бонферрони. Этот способ поправки является наиболее консервативным (т.е. сильнее всех других поправок уменьшает вероятность появления ошибки первого рода) и пригоден при числе сравниваемых выборок не более 5-7 [62]. Что соответствует имеющейся у нас ситуации.

Результаты множественных сравнений приведены в таблицах 3.15-3.19.

**Таблица 3.15**

**Результаты множественных попарных сравнений критерием Манна-Уитни с поправкой Бонферрони для глубины 0-20 см**

	1	2	3	4	5
2	1,00	-	-	-	-
3	1,00	1,00	-	-	-
4	0,003	0,003	0,004	-	-

5	0,01	0,001	0,01	1,00	-
6	0,004	0,004	0,01	1,00	1,00

Таблица 3.16

**Результаты множественных попарных сравнений критерием Манна-Уитни с поправкой Бонферрони для глубины 20-40 см**

	1	2	3	4	5
2	1,00	-	-	-	-
3	1,00	1,00	-	-	-
4	0,26	0,04	0,08	-	-
5	1,00	1,00	1,00	1,00	-
6	1,00	1,00	1,00	0,38	1,00

Таблица 3.17

**Результаты множественных попарных сравнений критерием Манна-Уитни с поправкой Бонферрони для глубины 40-60 см**

	1	2	3	4	5
2	1,00	-	-	-	-
3	1,00	1,00	-	-	-
4	0,01	0,004	0,04	-	-
5	1,00	1,00	1,00	0,88	-
6	1,00	1,00	1,00	0,03	1,00

Таблица 3.18

**Результаты множественных попарных сравнений критерием Манна-Уитни с поправкой Бонферрони для глубины 60-80 см**

	1	2	3	4	5
2	1,00	-	-	-	-
3	1,00	1,00	-	-	-
4	0,09	0,02	0,21	-	-
5	0,22	0,05	0,80	1,00	-
6	0,53	0,19	1,00	1,00	1,00

Согласно им, наибольшее число статистически значимых различий обнаруживается в верхнем слое (0- 20 см). В нем все трансекты на пашне статистически значимо отличаются от любых трансект в целинной степи. При этом между собой трансекты пашни статистически значимо не

отличаются. Аналогично ведут себя и трансекты в целинной степи (табл. 3.15).

**Таблица 3.19**

**Результаты множественных попарных сравнений критерием Манна-Уитни с поправкой Бонферрони для глубины 80-100 см**

	1	2	3	4	5
2	0,43	-	-	-	-
3	1,00	0,81	-	-	-
4	0,68	0,03	0,29	-	-
5	0,88	0,07	0,26	1,00	-
6	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00

В более глубоких слоях почвы всегда статистически значимые отличия обнаруживаются в паре сравнения четвертая и вторая трансекта. На глубинах 20-40 см, 60-80 см и 80-100 см никакие другие пары сравнений статистически значимых отличий не имеют (табл. 3.16, табл.3.17, табл. 3.18). На глубине 40-60 см четвертая трансекта имеет статистически значимые различия с первой, второй, третьей и шестой трансектами (табл. 3.19).

## **ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ЭРОЗИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

### **4.1. Графическое моделирование пространственного распределения органического вещества в почвах эрозионных ландшафтов**



Пространственное распределение содержания гумуса, представленное на рисунке 4.1 показывает, что территория склона в слое 0-20 см на целине представлена тучными и среднегумусными почвами, на пашне среднегумусными и лишь небольшая доля почв с содержанием гумуса от 3,0 до 4,5 % вклинивается частично в исследуемый массив (рис.4.1).

С глубиной содержание гумуса падает и темпы падения содержания гумуса в условиях целины менее заметны, наблюдается постепенное его снижение. На каждой глубине отмечается более однородное распространение контуров с определенным содержанием гумуса. В условиях пашни уже на глубине 60-80 см отмечаются включения контуров с содержанием гумуса менее 1,5 %.

Картограммы содержания гумуса созданы на основе интерполяции значений между точками отбора образцов почвы. Она выполнена в программе ArcGIS при помощи метода сплайна с барьерами. В качестве барьера при интерполяции взята граница заповедника.

На рисунке 4.1 видно, что фактическое положение точек отбора образцов почвы имеет ряд отклонений от планировавшейся схемы сбора – регулярной прямоугольной сетки. Поэтому необходимо проверить, является ли размер этих отклонений достаточным, чтобы признать фактическую схему отбора неравномерной. Такая проверка производится с помощью критерия (теста) Кларка-Эванса [4]. В данной работе использован тест Кларка-Эванса, реализованный в программе ArcGIS как инструмент «Среднее расстояние до ближайшего соседа» (входит в набор инструментов «Пространственная статистика»).

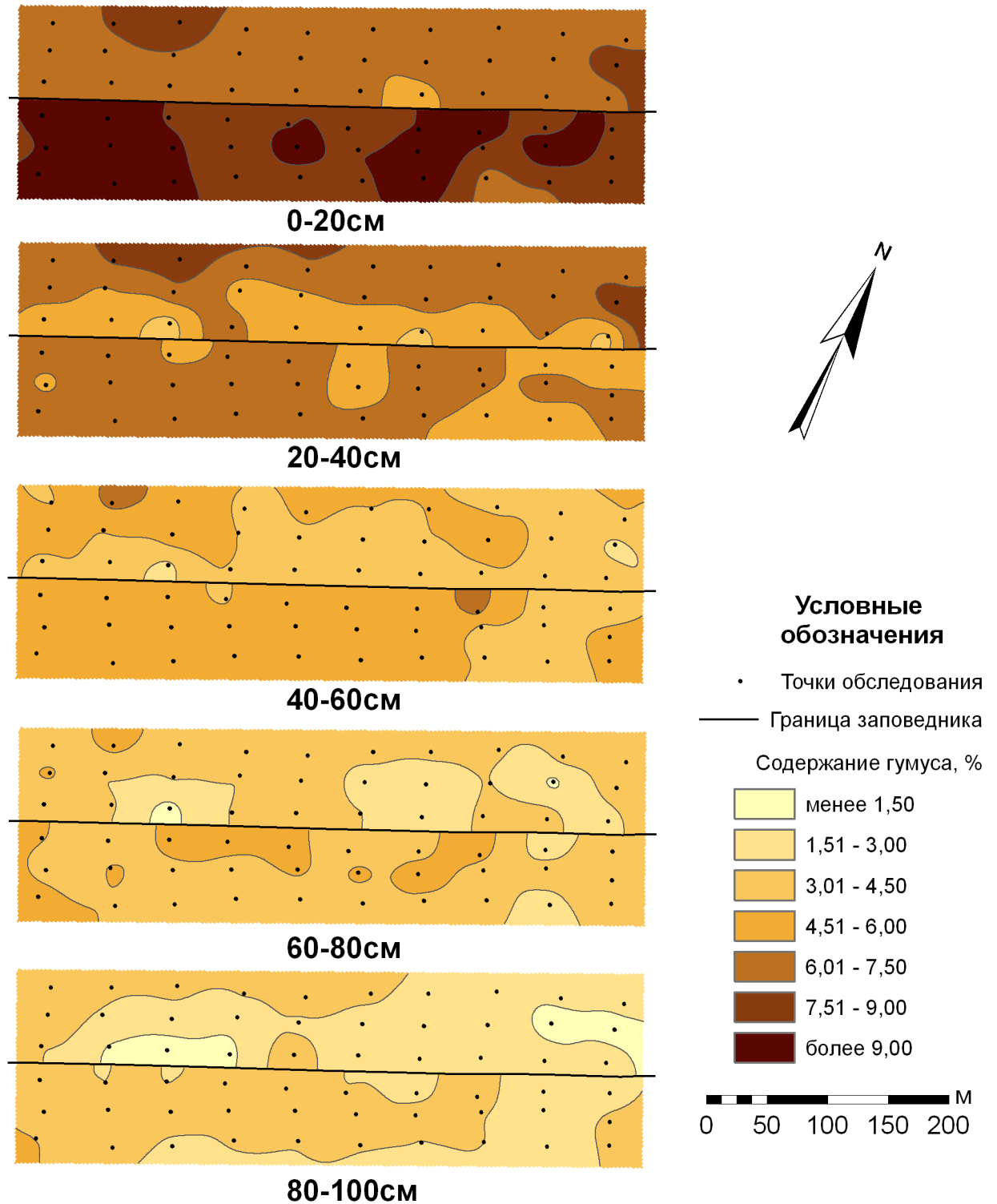


Рис. 4.1. Содержание гумуса в почве исследуемой территории

Тест Кларка-Эванса основан на вычислении среднего расстояния до ближайшего соседа (РБС). Нулевой гипотезой для теста Кларка-Эванса является полная пространственная хаотичность, то есть случайное

распределение точек. Альтернативной гипотезой является групповое или равномерное распределение. Фактическое РБС сопоставляется с РБС, необходимым для случайного распределения при текущей площади исследуемого участка и текущем количестве точек. Если отношение первого ко второму ( $R$  – коэффициент Кларка-Эванса) достоверно и меньше 1- то распределение групповое. Если больше 1 и достоверно - наблюдается тенденция к равномерности. Когда  $R$  равно 1 или не достоверно – объекты размещены случайным образом. Тест был применен как ко всей совокупности точек, и отдельно к точкам в целинной степи и точкам на пашне (табл. 4.1).

Таблица 4.1

### Результаты теста Кларка-Эванса

Угодье	Фактическое РБС, м				Ожидаемое среднее РБС, м	R	р-значение
	минимум	среднее	максимум	СКО			
Степь	13,06	22,03	31,90	4,49	18,56	1,19	0,05
Пашня	20,45	25,29	31,37	2,91	18,56	1,36	0,0002
Вся территория	13,06	23,41	31,90	3,84	18,56	1,26	0,0001

Результаты теста Кларка-Эванса показывают, что распределение точек в пространстве можно признать равномерным. Это верно как для всей совокупности точек, так и в отдельности для точек, расположенных в степи и на пашне. Таким образом, фактическое положение точек отбора образцов почвы удовлетворяет принципу отбора по регулярной прямоугольной сетке.

На рисунке четко видно, две содержание гумуса падает с глубиной на всей исследуемой территории. Также по площади, занимаемой ареалами с различным содержанием гумуса, можно визуальным образом определить, что среднее

содержание гумуса в степи выше, чем на пашне. И это верно для всех глубин. Но какие-либо закономерности пространственного распределения содержания гумуса визуально выявить в данном случае является затруднительным. Поэтому необходимо привлечение инструментов пространственной статистики.

Вопрос о характере распределения в пространстве значений какого-либо показателя решается при помощи критерия Морана  $I$ , который предназначен для выявления пространственной автокорреляции в данных. Нулевой гипотезой для этого критерия является полная пространственная хаотичность распределения. Альтернативной гипотезой является либо кластеризация (похожие значения расположены группами), либо равномерность (значения расположены как бы в шахматном порядке). Индекс меняется от  $-1$  до  $1$ . Индекс Морана равный  $0$  означает полную пространственную хаотичность. К такому же выводу мы приходим, если индекс Морана статистически значимо не отличается от нуля ( $p$ -значение больше  $0,05$ ). Если индекс Морана значимо отличается от нуля и положительный, то это указывает на кластеризацию. Если индекс Морана значимо отличается от нуля и отрицательный – это указывает на равномерность [52].

Результаты анализа пространственной автокорреляции содержания гумуса приведены в таблице 4.2.

В целом, можно сказать, что распределено в пространстве содержание гумуса статистически значимо не отличается от хаотичного. Единственное исключение – это верхний и нижний слой почвы, в которых наблюдается статистически значимая тенденция к кластеризации. В верхнем слое она характерна для всей совокупности точек в целом, при этом пространственное распределение в степи и на пашне в отдельности является хаотичным (табл. 4.2).

**Таблица 4.2**

**Результаты теста Морана для пространственной автокорреляции  
содержания гумуса**

Глубина, см	Угодье	Значение критерия I	p-значение	распределение
0-20	Целина	0,23	0,24	хаотичное
	Пашня	-0,11	0,71	хаотичное
	Вся территория	0,50	0,0004	кластеризованно е
20-40	Целина	0,20	0,29	хаотичное
	Пашня	-0,20	0,46	хаотичное
	Вся территория	-0,03	0,912	хаотичное
40-60	Целина	0,10	0,55	хаотичное
	Пашня	0,11	0,50	хаотичное
	Вся территория	0,17	0,20	хаотичное
60-80	Целина	0,06	0,66	хаотичное
	Пашня	0,04	0,73	хаотичное
	Вся территория	0,20	0,14	хаотичное
80-100	Целина	0,27	0,18	хаотичное
	Пашня	0,50	0,02	кластеризованно е
	Вся территория	0,50	0,0004	кластеризованно е

Такая кластеризация достигается за счет того, что высокие значения сосредоточены в степи, а низкие на пашне. В нижнем горизонте кластеризация характерна не только для всей совокупности точек, но и для точек на пашне.

**4.2. Оценка однородности /неоднородности пространственного  
распределения органического вещества в почвах эрозионных  
ландшафтов**

При оценке пространственной неоднородности почв по содержанию гумуса необходимо учитывать видовую принадлежность исследуемых почв. Черноземные почвы по содержанию гумуса делятся по Классификации ... (1977) на тучные – содержание гумуса выше 9 %, среднегумусные – содержание гумуса составляет от 9 до 6 %, малогумусные – содержание гумуса от 6 до 4% и слабогумусированные – содержание гумуса менее 4%. Для более детального изучения пространственного варьирования в группе значений от 6 до 4 % гумуса на глубинах 20-40 и 40-60 см были добавлены значения от 6 до 5 % и от 5 до 4 %.

Доля значений в содержании гумуса более 9 % на целинных черноземах от общего количества проб в верхнем 0-20 см слое почвы составляет 47 %, доля среднегумусных аналогов находится на уровне 53 %. Анализ полученных результатов показывает, что пространственное соотношение тучных и среднегумусных почв составляет половину всех значений, т.е. в верхнем слое наблюдается видовая неоднородность. На пашне значений с содержанием гумуса более 9 % не наблюдается. Доля значений в содержании гумуса от 9 до 6 % составляет 93 %, а от 6 до 4 % всего лишь 7 %. В большей степени на пашне почвы в основном среднегумусные и встречается лишь небольшая часть малогумусных почв.

На глубине 20-40 см содержание гумуса, как на целине, так и на пашне относится к среднегумусным аналогам, только на целине этих значений 76 %, а на пашне всего 33 %. Количество образцов с содержанием гумуса от 6 до 4 % на целине составляет 24 %, на пашне 67 % (табл. 4.3).

**Таблица 4.3**

**Распределение почв по содержанию гумуса на целине и на пашне**

Диапазон содержания гумуса, %	11,0-9,01	9,0-6,01	6,0-4,01	4,0-2,5	>2,5
Целина (доля показателя в % от общего числа значений)					

0-20	47	53	-	-	-
20-40	-	76	24	-	-
40-60	-	3	97	-	-
60-80	-	-	97	3	-
80-100	-	-	-	84	16
Пашня (доля показателя в % от общего числа значений)					
0-20	-	93	7	-	-
20-40	-	33	67	-	-
40-60	-	-	78	22	-
60-80	-	-	10	90	-
80-100	-	-	-	40	60

На глубине 40-60 см количество образцов с содержанием гумуса от 9 до 6 % на целине составляет 3 %, на пашне такие значения не наблюдаются. Основная доля целинных образцов 97 % имеет содержание гумуса от 6 до 4 %, на пашне уже вклиниваются показатели с более низким содержанием гумуса от 4 до 2,5 %, их доля составляет 22 %, а содержание гумуса от 6 до 4 % составляет 78%.

На целинных почвах на глубине 60-80 см 3 % образцов относится к слабогумусированным аналогам, а 97 % еще составляют малогумусные почвы. На пашне слабогумусированных образцов больше (90 %), чем малогумусных (10 %). На глубине 80-10 см в почвах пашни встречаются 40 % образцов с содержанием гумуса от 4 до 2,5 %, на целине 84 %, вдвое больше. С содержанием гумуса ниже 2,5 % на целине отмечено 16 % образцов, а на пашне 60 %.

Таким образом, пространственная неоднородность по содержанию гумуса в большей степени выражена на целинных черноземах. В верхнем 0-20 см слое встречается 47 % тучных видовых аналогов и 53 % среднегумусных. На пашне почвенный покров более однороден и представлен в основном среднегумусными аналогами. С глубиной становится заметной пространственная неоднородность, которая изменяется от среднегумусных почв до малогумусных. Однако на целине мощность

гумусового горизонта выше, что подтверждает 84 % количество образцов с содержанием гумуса от 4 до 2,5 % в слое 80-10 см..

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При проведении статистической оценки значимости показателей содержания гумуса в эрозионных ландшафтах на пашне и в условиях целины, применялись различные методы. Выбор статистических критериев для сравнения нескольких выборок сделан в соответствии с рекомендациями Гржибовского и др. Статистические тесты, предваряющие сравнение выборок (проверка на нормальность распределения и проверка однородности дисперсий выборок), осуществлены в соответствии с протоколом разведочного анализа данных. Проверка распределения выборок на нормальность выполнена при помощи критерия Шапиро-Уилка.



Результаты дисперсионного анализа указывают на то, что на всех горизонтах существуют статистически значимые отличия среднего содержания гумуса хотя бы между одной парой трансект. Наибольшее число статистически значимых различий обнаруживается в верхнем слое (0- 20 см). В нем все трансекты на пашне статистически значимо отличаются от любых трансект в целинной степи. В более глубоких слоях почвы всегда статистически значимые отличия обнаруживаются в паре сравнения четвертая и вторая трансекта. На глубинах 20-40 см, 60-80 см и 80-100 см никакие другие пары сравнений статистически значимых отличий не имеют.

Пространственное распределение содержания гумуса, показывает, что территория склона в слое 0-20 см на целине представлена тучными и среднегумусными почвами (более 9,0% и от 9,0 до 6,0 %), на пашне среднегумусными и небольшими участками почв с содержанием гумуса от 3,0 до 4,5 %. По индексу Морана было установлено, что распределение в пространстве содержание гумуса статистически значимо не отличается от хаотичного. Исключение составляет верхний и нижний слой почвы, в которых наблюдается статистически значимая тенденция к кластеризации.

На основании проведенных исследований было установлено:

1. Распашка почв на пашне после векового освоения приводит к достоверному уменьшению гумуса в метровом слое почвы на катенах северной экспозиции. При более длительном земледельческом периоде (150 лет) сельскохозяйственного освоения содержание гумуса в почвах увеличивается постепенно. В почвах катены южной экспозиции отмечается постепенное уменьшение содержания гумуса в зависимости от времени распашки, в этом случае наблюдается процесс нарастающей деградации. Наиболее достоверное его уменьшение отмечается в ряду лес-пашня 150 лет

2. Детальный анализ сравнения среднего содержания гумуса в метровом слое почвы в катенах сопряженных угодий показывает, что на целинных черноземах значение показателя составляет 5,48 %, на пашне - 4,48 %. Разница между значениями находится в пределах 1 %. Для каждой линии

отбора на пашне содержание гумуса меньше, чем на целине на каждой глубине.

3. В верхнем 0-20 см слое почвы содержание гумуса варьирует незначительно как на пашне, так и на целине. Наибольшее варьирование признака отмечается на глубинах 60-80 и 80-100 см в почвах катен, расположенных на пашне. Коэффициент корреляции составляет 30-39 %, на целине этот показатель ниже и находится на уровне 14-23 %.

4. Дисперсии выборок содержания гумуса по транссектам статистически значимо не отличаются. Наибольшее число значимых различий обнаруживается в верхнем слое 0-20 см. Содержание гумуса в почвах на транссектах на пашне отличается от содержания гумуса в почвах на катенах, расположенных в целинной степи. Содержание гумуса в почвах между катенами на пашне и целине значимо не отличаются.

5. Распределение в пространстве содержания гумуса статистически значимо не отличается от хаотичного. Исключение составляют верхний и нижний слои почвы, в которых наблюдается статистически значимая тенденция к кластеризации.

6. Пространственная неоднородность по содержанию гумуса в большей степени выражена на целине. В верхнем 0-20 см слое встречается 47 % тучных видовых аналогов и 53 % среднегумусных. На пашне почвенный покров более однороден и представлен в основном среднегумусными аналогами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: Методическое руководство / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
2. Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. - Луцино: ПНЦ РАН, 1995. – 320 с.
3. Ахтырцев, Б.П. Почвенный покров Белгородской области: структура, райлирование и рациональное использование / Б.П. Ахтырцев, В.Д. Соловиченко. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. - 268 с.

4. Басевич В.Ф., Макаров И.Б. Почвенный покров заповедных территорий //Материалы Второй научно практической конференции «Музей –заповедник: экология и культура. Вешенская, 2006. – С. 294-297.
5. Вальков, В.И. Почвоведение / В.И. Вальков, К.Ш. Казаев, С.И. Колесников. - М. - Ростов - н/Д: МарТ, 2004. - 496 с.
6. Васенева Э. Г., Дёгтева М. Ю., Шредер Д. Перспективы исследования антропогенной динамики почвенного покрова в системах прецизионного земледелия // Антропогенная деградация почвенного покрова и методы ее предупреждения. М., 1998, с. 158-159.
7. Георги А.А. Особенности развития намытых склоновых чернозёмов // Тр. Харьковского СХИ. – 1978. - Т. 255. - с.103-106.
8. Годельман Я.М. Неоднородность почвенного покрова и использования земель. – М.: Наука, 1981. – 200 с.
9. Готра О.Н. Структура пространственной неоднородности содержания гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в пределах одного поля Автореф. Дисс... канд биол. наук М. , 2004. - 22 с.
10. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 30 с.
11. Гржибовский А.М. Анализ трех и более независимых групп количественных данных / А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2008. – № 3. – С. 50-58.
12. Дайненко Е. К., Нешатаев Ю.Н., Анализ структуры почвенного и растительного покрова Казацкой степи ЦЧЗ им. В.В. Алехина // СПИ и методы ее изучения, М., 1973, с. 170-188.
13. Димо Н.А., Келлер Б.А. В области полупустыни. Почвенные и ботанические исследования на юге Царицынского уезда Саратовской губернии. Саратов: Изд-во Саратов гу. Земства. 1907. – 215 с.
14. Дмитриев Е. А. Элементы организации почвы и структура почвенного покрова // Почвоведение, 1993, №7, с. 23-30.

15. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е.А. Дмитриев. - М.: Изд-во МГУ, 1995 - 320 с.
16. Дмитриев Е.А., Николаенко А.В. Пространственно-временная неоднородность почв и погрешности экстраполяционных оценок средних значений влажности и рН // Вест. МГУ. Сер. 17 Почвоведение. 1996.- №4. – С. 3-14.
17. Карпачевский Л.О. Некоторые методические аспекты учета пространственной неоднородности в почвоведении // Масштабные эффекты исследования почв. М.: МГУ, 2001. – С. 39-46.
18. Кирюшин В. И. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия - основа современной агротехнологической политики России // Земледелие, 2000, №3, с. 4-6.
19. Козлов Д.Н. Цифровой ландшафтный анализ при крупномасштабном картографировании структур почвенного покрова. Автореф. Дисс... канд. Биол. наук.- М., 2009. – 26 с.
20. Княжева Е.В. Агроэкологическая характеристика неоднородности плодородия почвенного покрова в условиях правобережной лесостепи Среднего Поволжья. Дисс...канд биол. наук. М., 2004
21. Козловский Ф.И. Пути и перспективы дальнейшего развития концепции структуры почвенного покрова // Почвоведение, 1992, №4. –С. 5-14.
22. Картография с основами топографии / Под ред. Г.Ю. Грюнберга, Н.А. Палкина, Н.В. Малахов, Е.С. Фельдман. - М.: «Просвещение», 1991. - 368 с.
23. Литвинович А.В. Пространственная неоднородность агрохимических показателей пахотных дерново-подзолистых почв // Агрохимия, 2007, №5. – С. 89-94.
24. Мелиховская П.В. Изучение пространственной изменчивости свойств почв геостатистическими методами. – Автореф.дисс. канд биол. наук . М.: МГУ, 2011.- 21 с.

25. Медведев В.В. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть I. Введение в проблему. Харьков. Изд. «Изд. 13 типография», 2007, 296 с
26. Методика проектирования базовых элементов адаптивно-ландшафтной системы земледелия. - М.: Россельхозакадемия, 2010. - 85 с.
27. Методика разработки систем земледелия на ландшафтной основе. - Курск: Изд-во КГСХА. 1996 - 132 с.
28. Методы агрохимических анализов почв ОСТ 46 40-76 - ОСТ 46 52-76, издание официальное / Модифицированное определение гумуса в почвах по методу Тюрина с фотоколориметрическим окончанием ОСТ 46 47-76, Москва, 1977. – 112 с.
29. Неуструев С.С. Элементы географии почв. М.-Л., 1931. – 216 с.
30. Носко Б.С. Изменение гумусного состояния чернозёма типичного под влиянием удобрений. // Почвоведение, 1987, №5, с. 28-36.
31. Пейве, Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. - М.: Гос. изд-во с/х лит., журналов и плакатов, 1961. - 422 с.
32. Полупан Н.И. Влияние микрорельефа склоновых земель на процессы эрозии. // Почвоведение . - 1998. - №6. - с. 752-753.
33. Проектирование и внедрение эколого-ландшафтных систем земледелия в сельскохозяйственных предприятиях Воронежской области. Методическое руководство. Воронеж, 1999.
34. Розанов Б.Г. Генетическая морфология почв. М.: МГУ, 1975. – 294
35. Русаков А.В. Почвы и почвенный покров Ямской степи.- СПб.:Изд-во С.-Петербур.ун-та, 2012.-216 с
36. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л., Дмитриева Е.А. Структура пространственной вариабельности агрохимических свойств пахотной дерново-подзолистой почвы //Почвоведение, 1999, № 11, С. 1559-1566.
37. Самсонова В.П., Кротов Д.А., Мелиховская П.В. Пространственная изменчивость содержания гумуса агротемных почв Брянского Ополя //Пространственно-временная организация почвенного

покрова: теоретические и прикладные аспекты/Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2007. – С. 328

38. Сорокина Н. П. Элементарные почвенные структуры на полях Курской опытной станции // Крупномасштабная картография почв и ее значение в сельском хозяйстве Черноземной зоны, М., 1976, с. 155-169.

39. Унгуряну Т. Сравнение трех и более независимых групп с использованием непараметрического критерия Краскела Уоллиса в программе Stata / Т. Унгуряну, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2014. – № 6. – С. 55-58.

40. Филиппова Т.Е., Соколов Ю.П., Рабинович Г.Ю., Кузьмин Е.А., Корнеева О.В., Шахпорян Л.А. Влияние рельефа на пространственное изменение показателей плодородия почв мелиорированного конечно-моренного агроландшафта// Почвоведение, 2006, № 6. – С. 741-750.

41. Флесс А.Д. Силиневич Н.В. Интенсивность антропогенной эрозии почв малого водосбора в юго-западной части Клинско-Дмитровской гряды // Вест. МГУ. Сер. 17 Почвоведение. 2003 №2.- С. 44-49.

42. Флесс А.Д. Вынос основных почвенных компонентов с распахиваемых склонов Валдайской возвышенности: Автореф. ...канд. Биол. наук /МГУ- М.: 1985. – 22 с.

43. Фрид А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. Москва. 2002, 80 с.

44. Фрид Л. С. Некоторые алгоритмы оценки влияния масштабов обследования при изучении пространственной характеристики свойств почв // в сб. Масштабные эффекты при исследовании почв, МГУ, 2001, с. 146-153.

45. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. – М.: Мысль, 1972. – 423 с.

46. Шеин, Е.В., Пространственная неоднородность свойств на различных иерархических уровнях основа структуры и функций почв// Е.В

Шейн., Е.Ю. Милановский /Масштабные эффекты при исследовании почв.- М.: МГУ, 2001.- С. 47- 61.

47. Шурикова В.И., Ермоленко Г.П. К вопросу о классификации смытых серых лесных почв // Эрозия почв и научные основы борьбы с ней. - М., 1985. - 64-68.

48. Экологические факторы и свойства почв склонов ЦЧР: коллективная монография: в 2ч. Ч.1/научн. Ред. Е.П. Проценко. - Курск, 2009. - 145 с.

49. Якушев В.П., Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Топаж А.Г. Использование ГИС в точном земледелии (аналитический обзор) // Агрехимический вестник, №1, 2002, с. 34-39.

50. Clark P.J. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations / P.J. Clark, F.C. Evans // Ecology. – 1954. – Vol. 35. – № 4. – P. 445–453.

51. Elkateb T.M. Quantification of soil heterogeity //Degree: Ph.D. Institute: University of Alberta (Canada). - 2004/ - 50 p.

52. Getis A. The analysis of spatial association by use of distance statistics / A. Getis, J.K. Ord // Geographical analysis. – 1992. – Vol. 24. – № 3. – P. 189–206.

53. Kruskal W.H. Use of ranks in one-criterion variance analysis / W.H. Kruskal, W.A. Wallis // Journal of the American statistical Association. – 1952. – Vol. 47. – № 260. – P. 583–621.

54. Mann H.B. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other / H.B. Mann, D.R. Whitney // The annals of mathematical statistics. – 1947. – Vol. 18. – № 1. – P. 50–60.

55. McBratney A.B., Webster R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates // Journal-of-Soil-Science, 1986, №37, p. 617-639.

56. Robert P. Characterization of soil conditions at the field level for soil specific management // Geoderma, 1993, №60, p. 53-72.



57. Shapiro S.S. An analysis of variance test for normality (complete samples) / S.S. Shapiro, M.B. Wilk // *Biometrika*. – 1965. – Vol. 52. – № 3/4. – P. 591–611.
58. Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field // *Advances in Soil Science* 1985, № 3, p. 1-70.
59. Webster R., Burgess T.M. Sampling and bulking strategies for estimating soil properties in small regions // *Journal of Soil Science*, 1984, №35, p.127-140.
60. Webster R., Oliver M. A. Sample adequately to estimate of soil properties. *Journal of Soil Science*, 1992, № 436, p. 177-192.
61. Wilcoxon F. Individual Comparisons by Ranking Methods / F. Wilcoxon // *Biometrics Bulletin*. – 1945. – Vol. 1. – № 6. – P. 80.
62. Wright S.P. Adjusted P-Values for Simultaneous Inference / S.P. Wright // *Biometrics*. – 1992. – Vol. 48. – № 4. – P. 1005-1013.
63. Zuur A.F. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems: Data exploration / A.F. Zuur, E.N. Ieno, C.S. Elphick // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2010. – Vol. 1. – № 1. – P. 3-14.