



НАО «Национальный аграрный научно-образовательный центр»

ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ СЕМИНАРА

Тема: «Сохранение и защита почвенных ресурсов.

Структура почвы как основа плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур»

Разработана в рамках государственного задания «Услуги по распространению знаний для субъектов агропромышленного комплекса на безвозмездной основе» в рамках бюджетной программы 267 «Повышение доступности знаний и научных исследований» подпрограммы 100 «Информационное обеспечение субъектов агропромышленного комплекса на безвозмездной основе».

Эксперт: Хамзин Серик Габидоллаулы, Главный агроном-консультант ТОО «ОХМК»

Ответственный лектор семинара: Сулейменов Ермек Аскербекулы, Начальник отдела селекции и семеноводства подсолнечника ТОО «ОХМК»

Место проведения семинара: ТОО «Опытное хозяйство масличных культур», Восточно-Казахстанская область, Глубоковский р-н, с. Солнечное ул. Мира 2а

Дата проведения семинара: 13 августа 2025 г, 09.00 час.

Тема семинара: Сохранение и защита почвенных ресурсов. Структура почвы как основа плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур

Цель семинара: Обмен опытом по сохранению и защите почвенных ресурсов.

Задача семинара:

- 1) сохранение и защита почвенных ресурсов;
- 2) демонстрация на поля ТОО «ОХМК».
- 3) структура почвы, как основа плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур.

Целевая аудитория: субъекты агропромышленного комплекса занимающиеся или заинтересованные в развитии семеноводства, собственники земель, государственные и гражданские служащие местных исполнительных органов и их подведомственные организации, руководители и члены сельскохозяйственных кооперативов, главы крестьянских (фермерских) хозяйств, сельскохозяйственные товаропроизводители, и другие хозяйствующие субъекты, заинтересованные в производстве семян.

Введение: Актуальность темы

Почва — это не просто основа, на которой стоит растение. Это живая система, которая кормит, поит и дышит вместе с культурой.

Почему это важно сейчас?

Во всём мире, включая Казахстан, сельское хозяйство сталкивается с серьезной проблемой — деградацией почв.

Мы всё чаще замечаем:

- снижение урожайности при тех же технологиях;
- появление признаков эрозии;
- уплотнение пахотного слоя;
- быстрое испарение влаги после дождей;
- ухудшение структуры почвы, особенно после пахоты.

Эти изменения происходят не только из-за климата, но и из-за неправильного обращения с почвой — избыточной обработки, отсутствия органики, нарушения севооборота.

По данным FAO (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН):

Каждый год в мире теряется до 24 миллиардов тонн плодородного почвенного слоя. Это не абстрактная цифра — это тот слой, в котором растут наши культуры. На восстановление 1 см почвы может уйти от 100 до 500 лет. Почва — исчерпаемый ресурс. Мы не можем позволить себе терять её.

Если говорить именно о ресурсах самой почвы, то это не виды землепользования, а её внутренние свойства и запасы, которые определяют плодородие и экологические функции.

К основным почвенным ресурсам относят:

- Гумус — запас органического вещества, главный источник питания растений и основа плодородия.
- Питательные элементы — азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера и микроэлементы, необходимые для роста растений.
- Влага — запасы воды в почвенном профиле, доступной для растений.
- Воздухопроницаемость — способность почвы обеспечивать корни кислородом.
- Структура и агрегатное состояние — наличие комковатой, рыхлой структуры, которая удерживает влагу и предотвращает эрозию.
- Ёмкость поглощения — способность почвы удерживать питательные вещества и воду.
- Биологическая активность — количество и разнообразие почвенных микроорганизмов, дождевых червей и другой фауны, участвующих в разложении органики и образовании гумуса.
- Буферность — способность почвы противостоять резким изменениям кислотности, засоления или загрязнения.

Проще говоря, ресурсы почвы — это её внутренний “капитал” в виде органического вещества, питательных элементов, влаги и биологической активности, от которых зависит урожайность и устойчивость экосистем.

Описываю диаграмму. Мировая статистика.

По данным **FAO (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН)**:

Около 3,3 млрд га (29%) занято под пастбища и многолетние насаждения, которые широко используются в животноводстве и садоводстве. Леса покрывают примерно 4,0 млрд га, что составляет 25% всей суши и играет ключевую роль в поддержании экологического баланса. На долю городов, пустынь, болот и других природных или антропогенно нарушенных территорий приходится около 6,1 млрд га, или 37%, что делает их наименее пригодными для ведения сельского хозяйства. Из общей площади суши на Земле, которая составляет около 14,9 млрд гектаров, лишь незначительная часть используется под пашню — всего 1,5 млрд га, что составляет около 9%. Причём из этой площади **половина уже деградирована** — примерно 0,5 млрд га. Это означает, что значительная часть плодородных земель подверглась таким негативным процессам, как эрозия, засоление, истощение и загрязнение, что снижает их продуктивность и устойчивость. Таким образом, из всей площади суши лишь малая часть действительно используется для возделывания сельскохозяйственных культур, причём значительная доля этой пашни уже утратила своё плодородие, что подчёркивает актуальность вопросов устойчивого землепользования и защиты почвенных ресурсов.

Источник: FAOSTAT, World Bank, UNCCD (актуальные оценки 2021–2024 годов).

Описываю ситуацию по Казахстану

Какова ситуация сейчас? Научные оценки говорят о том, что из **272,5 млн га** территории Казахстана в той или иной мере подвержены опустыниванию **180 млн га**. Затронуты процессами деградации и промышленные территории, и сельхозугодья.

Согласно отчету Комитета по управлению земельными ресурсами РК не осложнены отрицательными признаками лишь **41,5 млн га (19,4%)** от всей площади сельскохозяйственных угодий Казахстана (**214 млн га**). В том числе, нет проблем на **17,2 млн га (64,4%)** от всей площади пашни страны (**23,6 млн га**).

Что касается пастбищ, то из их общей площади в **181 млн га** к категории сбитых в средней и сильной степени отнесено **27,1 млн га**. Другими словами, это пастбища имеют крайнюю степень деградации. Остальные сельхозугодья имеют те или иные проблемы - защебнение, засоление, ветровая или водная эрозия. Наиболее острая проблема - именно ветровая эрозия. Ее последствия распространены на площади **24,2 млн га** сельхозугодий, из которых на сегодня в составе пашни остаются **0,5 млн га**.

Диаграмма показывает, что основная часть земель Казахстана — это пастбища (72%), на пашни приходится лишь 10%, а деградированные пашни занимают 3%. Леса составляют

5% территории, что подчёркивает приоритет животноводства и необходимость бережного использования ограниченных сельхозугодий.

Описываю ситуацию по ВКО

Диаграмма показывает, что в ВКО значительные площади сельхозугодий подвержены эрозии: водная эрозия затрагивает 232,9 тыс. га, ветровая — 216,7 тыс. га. При этом на пашнях эти показатели значительно ниже (9,2 и 7,7 тыс. га соответственно), что указывает на то, что основная проблема эрозии связана с пастбищами и другими угодьями.

- Индия занимает первое место в мире по площади пашни — около 156 млн гектаров.
- США находятся на втором месте с 152 млн гектаров.
- Россия — третья по величине пашни страна, примерно 121 млн гектаров.
- Китай также входит в число лидеров, обладая 119 млн гектаров пашни.
- Бразилия — около 70 млн гектаров.
- Канада — около 38 млн гектаров.
- Украина — примерно 32 млн гектаров, что делает её одной из самых аграрно ориентированных стран Европы.
- Австралия — около 27 млн гектаров.
- Франция — примерно 18 млн гектаров.
- Казахстан — около 35 млн гектаров, при этом значительная часть этих земель — в Северном и Восточном регионах страны, включая чернозёмы и темно-каштановые почвы.

Источник: FAO (2021–2023), World Bank, USDA.

Физические свойства почв — это совокупность характеристик, которые определяют состояние, поведение и взаимодействие почвы с водой, воздухом, теплом и механическими нагрузками. Эти свойства существенно влияют на водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почвы, а значит — на рост и развитие растений, урожайность и устойчивость агроэкосистем.

Ниже приведены **основные физические свойства почв**:

1. Механический состав (гранулометрический состав)

Это соотношение частиц разного размера в почве:

- **Песчаные почвы** – содержат крупные частицы ($>0,05$ мм), рыхлые, хорошо дренируются, но бедны питательными веществами.
- **Супесчаные** – промежуточный вариант, более плодородны.
- **Суглинистые** – сбалансированный состав, наиболее благоприятны для сельского хозяйства.
- **Глинистые** – содержат мелкие частицы ($<0,002$ мм), влагозадерживающие, но склонны к уплотнению и плохой аэрации.

2. Структура почвы

Структура почвы — это **способ организации твердых частиц почвы** (глины, ила, песка) в **агрегаты** — маленькие комочки, связанные между собой гумусом, корнями, грибами и микробами.

- Эти агрегаты формируют **поры** — каналы, по которым движется воздух и вода.
- Структурированная почва похожа на **губку** — она держит влагу, но и не "задыхается".
- Разрушенная структура — как цемент: она уплотнена, воздух и вода почти не проходят.

Типы почвенной структуры:

Тип структуры	Характеристика	Примеры условий
Зернистая	Мелкие рыхлые агрегаты, легко пропускают воздух и воду	Черноземы, целина
Комковатая	Средние прочные агрегаты	Хорошо обработанная почва
Плитчатая	Сплюснутые слои, плохо пропускают воду	Уплотнение, переезд
Призматическая	Вертикальные столбы, плохая проницаемость	Засоление, засуха
Бесструктурная	Пыль или сплошной массив	После глубокой вспашки

Почему структура так важна?

1. Влагоудержание

Хорошая структура удерживает влагу **на доступной глубине**. При разрушенной — вода либо не проходит, либо уходит вглубь.

2. Газообмен

Корням нужен кислород. Без него они "захлёбываются", особенно при переувлажнении.

3. Корневая система

В рыхлой структуре корень легко растёт вглубь. В уплотнённой — тормозится рост, доступ к воде и питанию снижается.

4. Микрофлора и фауна

Почвенные микроорганизмы, грибы и черви живут только при наличии **воздуха, влаги и органики** — всё это возможно при структурной почве.

Как нарушается структура?

- Частая и глубокая **вспашка** разрушает агрегаты.
- **Переезд по влажной почве** уплотняет верхний слой.
- Отсутствие **органических остатков** делает почву "мертвой".

- Отказ от **покровных культур** приводит к оголению поверхности → эрозия, запыливание.

Интересный факт для участников:

Один дождевой червь за сезон может "пропахать" до 50 метров почвы!
Он создаёт каналы, которые улучшают структуру, а его выделения цементируют агрегаты.
Но червь не живёт в мёртвой, уплотнённой или сухой почве.

Признаки хорошей структуры (что искать в поле):

- Почва рассыпается на агрегаты размером 1–10 мм;
- Есть поры и ходы от червей;
- Цвет — темнее (признак органики);
- При сжатии в руке — упругая, не "пыль" и не "глина".

Структура почвы — основа плодородия

- Что такое **структура почвы**: агрегаты, поры, капилляры.
- **Типы структуры**: зернистая, комковатая, пластинчатая и др.
- Как структура влияет на:
 - водопроницаемость,
 - воздухопроницаемость,
 - развитие корневой системы,
 - активность почвенной микрофлоры.

Включить визуализацию (фото, схемы, слайды с примерами разной структуры)

Почва — это не только химия (N, P, K), но ещё и **физика**.
Один из важнейших физических показателей — это **структура почвы**. Именно она определяет:

- как дышат корни,
- как проникает вода,
- как развиваются микроорганизмы,
- и, в конечном счёте, **какой мы получим урожай**.

Что можно показать:

- Фото структурированной и разрушенной почвы.
- Сравнение корней культуры в рыхлой и уплотнённой почве.
- Видео про червей и агрегаты (если есть проектор).
- Образцы почвы с разных участков (если подготовлены заранее).
- Хорошо структурированная почва имеет комковатую или зернистую структуру.
- Хорошая структура обеспечивает оптимальное соотношение воздуха и воды, благоприятна для корней, микроорганизмов.
- Нарушенная структура (при переуплотнении, переувлажнении) снижает водо- и воздухообмен.

Правильная структура почвы — это как качественный фундамент под дом.
Без неё никакие удобрения, семена и технологии не дадут ожидаемой отдачи.

Поэтому сегодня в поле вы сами убедитесь, **какая структура сохраняется на целине, разрушается при вспашке и восстанавливается при минимальной обработке.**

Воздействие земледельческих практик на структуру почвы

- Сравнение различных систем:
 - **Целина (естественная структура)** — эталон баланса.
 - **Пахотная почва (традиционная система)** — уплотнение, разрушение агрегатов, эрозия.
 - **Мини-тилл и нулевая обработка** — сохранение структуры, уменьшение эрозии, повышение биологической активности.
- Факторы разрушения структуры:
 - чрезмерная механическая обработка,
 - отсутствие покровных культур,
 - выветривание и водная эрозия.

Примеры с полей хозяйства: сравнение урожайности и состояния почвы

Пути сохранения и улучшения структуры почвы

- Агротехнические меры:
 - минимизация механической обработки (мини-тилл, ноу-тилл),
 - севообороты с покровными культурами,
 - органические удобрения, сидераты,
 - мульчирование,
 - борьба с переуплотнением (не проезжать по влажной почве).
- Биологические меры:
 - увеличение содержания гумуса,
 - стимулирование почвенной фауны (дождевые черви, микориза).

3. Плотность почвы

- **Истинная плотность** — масса вещества без пор (около 2,6–2,7 г/см³ для большинства почв).
- **Объёмная (насыпная) плотность** — масса единицы объёма с порами (обычно 1,1–1,6 г/см³).
- Важный показатель при оценке плотности укладки, способности удерживать влагу и воздуха.

Плотность насыпного материала является важным компонентом здоровья почвы, потому что она объясняет сколько воздуха по сравнению с почвой находится в почве. Обычно в почве содержится от 45 до 50 % воздуха, а остальное это минеральная фракция. Метод который используют для измерения плотности насыпного материала очень простой. Берем цилиндр нам известным размером, вдавливаем в почву, снимаем цилиндр и взвешиваем внутри содержимую. Если внутри почва тяжелая значит плотность насыпи большая, а если легкая значит внутри воздуха много.....

4. Пористость

Это доля объёма почвы, занятая порами:

- Общая пористость — около 40–60% в плодородных почвах.
- Поры бывают капиллярные (удерживают влагу) и некапиллярные (обеспечивают воздухообмен).
- Избыточное уплотнение снижает пористость и аэрацию.

Пористость включает два фактора 1. Общий объем пор и размер этих пор. Вода удерживается в почве за счет адгезии воды к поверхности почвы. Когда соприкасаются две и более частиц почвы, эту воду становится труднее удалить путем всасывания осуществляемого корнями поскольку поры становятся меньше. Как правило в с/х-ве мы стремимся к широкому распределению размеров пор. Крупные поры обеспечивают дренаж воды в подпочву и подстилающую коренную породу. Средние и мелкие поры удерживают воду преодолевая силу тяжести и все же позволяет растениям извлекать эту накопленную воду для своих нужд. Очень мелкие поры удерживают воду которая на самом деле не доступна для растений, но поддерживает функционирование микроорганизмов. Инструменты которые позволяют управлять структурой п включают в себя покровные культуры, внесение орг в-ва, которое затем используется червями и биотой, живущей в почве, которые помогают прорывать почву и создавать структуру п. Так же они после себя оставляют клей, воск, смолу которые сохраняют эту структуру почвы.

5. Влажность почвы

- Почва может содержать воду в различных формах: гравитационная (стекает вниз), капиллярная (доступна растениям), гигроскопическая (недоступна).
- Оптимальная влажность зависит от типа почвы, но обычно это 60–80% от полной влагоёмкости.

6. Воздухоёмкость

- Способность почвы обеспечивать корни воздухом.
- Тесно связана с пористостью и структурой.
- При переувлажнении воздухоёмкость резко падает, что приводит к анаэробным условиям.

7. Водопроницаемость и водоудерживающая способность

- **Водопроницаемость** — скорость, с которой вода проходит через почву. Высока у песчаных, низка у глинистых.
- **Влагоёмкость** — сколько воды может удерживать почва без стекания. Важна для обеспечения растений влагой между дождями и поливами.

В год 523 мм выпадает. Влагоёмкость наших почв 229 мм в метровом слое. Сама почва не может принять 500 мм. Весной замеряем сколько у нас накопилось осадков и смотрим. В плохой год 60-80 мм, в нормальный 140 мм, получается эффективность использования влаги который нам дается это 25%. 2 горизонта внизу это глина. Глина внизу очень медленно накапливает влагу и отдает медленно.

8. Температурный режим (теплоёмкость и теплопроводность)

- Почвы с хорошей структурой и содержанием органики быстрее прогреваются весной.
- Влажные и плотные почвы дольше удерживают холод.
- Температура почвы влияет на прорастание семян, микробиологические процессы, минеральное питание растений.

От 35-38 градусов Цельсия биологические процессы в почве замирают, а если более 40 гибнет. Белок сворачивается.

Прием с замером температуры почвы

9. Устойчивость к эрозии

- Зависит от структуры, плотности, растительного покрова.
- Песчаные и деградированные почвы менее устойчивы.
- Хорошо структурированные почвы с растительностью устойчивы к смыву и выдуванию.

Итог

Физические свойства — основа **почвенного плодородия**. Они определяют доступность воды и воздуха для корней, проницаемость почвы для корней, условия микробиологической активности и сопротивляемость деградации. Рациональное землепользование и агротехника (например, прямой посев, минимальная обработка, органические удобрения) направлены на сохранение и улучшение этих свойств.

Слайд 8 Химические свойства почвы — это совокупность характеристик, определяющих химический состав почвы, её реакцию среды, содержание питательных элементов и способность удерживать и обменивать ионы. Эти свойства играют ключевую роль в обеспечении растений доступными формами элементов питания и напрямую влияют на урожайность.

1. Почвенная реакция (pH)

Это показатель кислотности или щелочности почвы. Он влияет на растворимость и доступность питательных веществ для растений.

- **Кислая реакция** ($\text{pH} < 5.5$) характерна для подзолистых и торфяных почв, может вызывать дефицит кальция, магния и фосфора.
- **Нейтральная реакция** ($\text{pH} 6.5\text{--}7.5$) считается оптимальной для большинства сельскохозяйственных культур.
- **Щелочная реакция** ($\text{pH} > 7.5$) может снижать доступность микроэлементов, особенно железа, марганца и цинка.

2. Гумусовое состояние

Гумус — это органическое вещество, образующееся при разложении остатков растений и животных. Он влияет на плодородие, структуру, влагоемкость и буферную способность почвы.

- Богатые гумусом почвы (чернозёмы) обладают высокой естественной плодородностью.

- Низкое содержание гумуса — признак деградации и истощённости почвы.

3. Катионообменная способность (КОС)

Это способность почвы удерживать ионы (катионы) питательных веществ, таких как кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), калий (K^+), аммоний (NH_4^+), и отдавать их растениям.

- Чем выше КОС, тем выше способность почвы к питательному обеспечению и устойчивости к вымыванию элементов.

4. Содержание элементов питания

К основным макроэлементам относятся:

- **Азот (N)** — стимулирует рост растений и синтез белка.
- **Фосфор (P)** — важен для корневой системы и образования семян.
- **Калий (K)** — повышает устойчивость к засухе и болезням.

Также важны микроэлементы: **железо, марганец, цинк, медь, бор, молибден**, и др. Недостаток или избыток любого из них может вызывать нарушения в развитии растений.

5. Соленость почвы

Некоторые почвы содержат избыточное количество легкорастворимых солей (сульфатов, хлоридов, карбонатов натрия и кальция).

- Засоление нарушает водный баланс растений, ухудшает прорастание семян и усвоение питательных веществ.
- Особенно актуально в засушливых регионах или при неправильном орошении.

6. Буферные свойства почвы

Это способность почвы сопротивляться резким изменениям химического состава, особенно pH. Чем выше буферность, тем стабильнее условия для роста растений.

Простой пример для аудитории:

Представьте, что у вас есть губка (как почва). Когда она новая, она впитывает воду. Но если вы ее сожгли или сжали — она уже не работает.

То же самое с почвой: если мы разрушим её структуру, сожжём гумус, вытопчем техниками — она не сможет выполнять свои функции.

Слайд 9,10 ЗДЕСЬ РАССКАЗЫВАЮ В ОСНОВНОМ О ВОДНОЙ ЭРОЗИИ. БУДУТ СЛАЙДЫ СМЫВОВ И БУДУТ ПУТИ РЕШЕНИЯ В ДАННОМ X-VE.

Восточный Казахстан остро сталкивается с проблемой водной и ветровой эрозии почв, которые являются ключевыми факторами деградации земель в регионе. Водная эрозия возникает при смыве плодородного слоя во время сильных дождей и таяния снега, особенно на склонах и незащищённых участках. Она приводит к образованию оврагов, снижению мощности гумусового горизонта и потере питательных веществ, что напрямую

уменьшает урожайность. Ветровая эрозия особенно опасна на открытых, распашанных и пересушенных землях: сильные порывы ветра выдувают верхний слой почвы, унося органическое вещество и мелкозернистые частицы. Основные причины обеих форм эрозии — отсутствие защитных насаждений, чрезмерная распашка склонов, недостаток травопольных севооборотов. Для снижения этих процессов необходим комплекс мер: внедрение почвозащитных технологий (минимальная и нулевая обработка почвы, мульчирование), создание лесополос, полосных посевов, восстановление травяного покрова, рациональное пастбище использование и переход на влагосберегающие агроприёмы. Такие действия не только сохранят плодородный слой, но и обеспечат долгосрочную устойчивость земледелия региона.

Основные формы деградации пашни:

1. Эрозия (водная и ветровая) — главная причина (до 75% деградированных участков).
2. Истощение органического вещества — потеря гумуса, падение плодородия.
3. Уплотнение почв — особенно из-за тяжёлой сельхозтехники.
4. Засоление — особенно в орошаемых зонах (Центральная Азия, Ближний Восток, Индия, Китай).
5. Загрязнение тяжёлыми металлами и пестицидами.

Водная эрозия на полях возникает из-за разрушения и смыва верхнего слоя почвы потоками воды, что происходит под действием как природных, так и антропогенных факторов. Основными причинами являются сильные ливни и быстрое снеготаяние, когда вода не успевает впитаться и стекает по поверхности, унося почвенные частицы; наличие уклона, на котором вода разгоняется и усиливает размыв; нарушение структуры почвы из-за уплотнения тяжёлой техникой и неправильной обработки, что снижает водопроницаемость; отсутствие растительного покрова, который обычно защищает почву корнями и надземной массой; а также применение неправильной агротехники, например вспашки вдоль склона, обработки в неподходящие сроки или ведения однотипных посевов без севооборота. В результате сначала образуются мелкие бороздки, затем промоины, которые при развитии могут превратиться в глубокие овраги, приводя к значительным потерям плодородного слоя и снижению урожайности.

Заключение части:

Что такое плужная подошва

Плужная подошва — это **уплотнённый слой почвы** на глубине 15–25 см, образующийся при многократном прохождении тяжёлой техники (тракторов, комбайнов, сеялок) по одному и тому же маршруту и при постоянной глубине вспашки.

Механизм образования

1. Колёса и гусеницы оказывают давление **0,1–0,25 МПа** на почву.
2. При многократном проходе нагрузка превышает **предел прочности агрегатов** почвы (для влажной суглинистой почвы это 0,15–0,20 МПа).
3. Частицы уплотняются, уменьшается пористость, особенно крупных (макропор).

Доказательства в цифрах

Показатель	Норма (без уплотнения)	После 5–10 проходов трактора (8–10 т)	Изменение
Плотность сложения (г/см ³)	1,1–1,3	1,5–1,7	+15–30%
Общая пористость (%)	55–60	40–45	–10–15 п.п.
Водопроницаемость (мм/ч)	20–30	5–10	–60–75%
Проницаемость для корней (%)	100	50–60	–40–50%
Урожай пшеницы (т/га)	3,5–4,0	2,8–3,2	–15–20%

Пример из практики

- **Исследования КазНИИЗиР (Казахстан):** при многолетней вспашке на одну и ту же глубину и активном использовании тяжёлых тракторов (К-700, МТЗ с прицепами) плотность сложения на глубине 18–22 см увеличивалась до **1,65 г/см³**, а коэффициент фильтрации воды снижался в 3–4 раза. Урожайность яровой пшеницы падала на **0,6–0,8 т/га**.
- **Данные USDA (США):** при нагрузке колёс более **6 т/ось** формирование уплотнённого слоя происходило уже за 2–3 года обработки, снижая урожай кукурузы на **16%**.

Машина	Вес
Кировец К-700А (трактор)	≈ 12,8 т
John Deere 9RX 830 (трактор)	≈ 33,5 т
John Deere S790 (комбайн)	≈ 20,75 т
Акрос (комбайн)	—
John Deere RX (комбайн)	—

Культура	Оптимальная плотность сложения, г/см ³	Примечания
Подсолнечник	1,20–1,35	Более плотная почва затрудняет проникновение стержневого корня на глубину, снижая засухоустойчивость.
Зерновые (пшеница, ячмень, овёс)	1,10–1,30	Легкая уплотнённость допустима, но выше 1,35 г/см ³ ухудшается кущение и развитие вторичных корней.
Рапс яровой	1,10–1,25	Очень чувствителен к уплотнению, особенно в

Машина

Вес

первые 2–3 недели после всходов. При плотности выше $1,30 \text{ г/см}^3$ наблюдается снижение всхожести и урожайности.

Подготовка к практической части

- Объяснение цели раскопок:
 - увидеть **физическую структуру** в разных условиях,
 - обратить внимание на корнеобитаемый слой, наличие каналов от червей, плотность горизонтов.
- Вопросы, которые участники должны будут задать себе при осмотре:
 - Какой цвет почвы?
 - Есть ли разница в пористости?
 - Какие горизонты выражены?
 - Есть ли признаки уплотнения (плужная подошва)?
 - Какой запах почвы? (признак органики)
 - Есть ли биологическая активность?

Рекомендуемые материалы:

- Фото/видео структуры разных типов почв
- Таблицы с характеристиками структуры при разных системах обработки
- Образцы из поля (если заранее подготовлены)
- Модель структуры (можно из губки, кубиков и др.)