

УДК 631.1+631.4

# РЕЗУЛЬТАТЫ ВОСЕМНАДЦАТИЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ЗАВОЛЖЬЯ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*А.Х.Куликова, доктор с.-х.наук, И.А.Вандышев, А.В.Карпов, С.В.Шайкин, С.Е.Ерофеев, И.В.Антонов, Н.Г.Захаров, кандидаты с.-х. наук, В.П.Тигин, соискатель, Ульяновская ГСХА*

Механическая обработка почвы является одним из старейших технологических комплексов, история которой восходит к зарождению земледелия в тех или иных очагах цивилизации. Именно тогда древнейшие люди заметили, что семена, попавшие в разрыхленную почву, прорастали лучше и изобрели для этого орудия: первоначально заостренный кол, затем мотыга и т.д. – до современных орудий. Пройдя длительный путь от примитивных до современных орудий, она осталась самым значительным, самым трудоемким и самым проблематичным элементом системы земледелия. Обусловлено это тем, что обработка, являясь основой технологии возделывания сельскохозяйственных культур, оказывает наиболее сильное воздействие на все почвенные режимы и свойства, определяющие не только условия роста и развития культур, но и благополучие окружающей среды.

Правильная, соответствующая почвенно-климатическим условиям, обработка является важным средством оптимизации гумусного, агрофизического состояния почвы, ее питательного и водного режимов, фитосанитарного состояния посевов, предупреждения эрозионных процессов и т.д. И, наоборот, обработка без глубокого учета соответствия всей совокупности природных факторов может привести к катастрофическим последствиям.

С учетом природных условий Среднего Поволжья основные требования к обработке почвы сводятся к следующему:

- оптимизация агрофизического состояния и создание условий мобилизации элементов питания в доступной форме, а также условий эффективного использования вносимых удобрений;
- создание условий, способствующих максимальному накоплению, сохранению и рациональному (экономному) использованию почвенной влаги сельскохозяйственными культурами в течение вегетационного периода;
- защита почвы от водной и предотвращение ветровой эрозии, а также регулирование засоренности, вредителей и болезней в посевах культурных растений;
- создание условий для максимального воспроизводства биогенных ресурсов плодородия почвы;
- энерго-, ресурсо- и гумусосбережение.

Выбор той или иной системы обработки почвы предполагает на основе длительных стационарных

опытов достаточно емкую работу по экологической оценке климатических условий, почвы и ее режимов с тем, чтобы используемые в дальнейшем приемы характеризовались не только агрономической и экономической эффективностью, но и технологической осуществимостью, экологической целесообразностью, обеспечивали сохранение и воспроизводство плодородия почвы.

В связи с вышесказанным имеется настоятельная необходимость изучения эффективности разных систем обработки почвы, применяемых в условиях Среднего Поволжья, и проведение их агроэкологической оценки с установлением наиболее оптимальной основной обработки.

Исследования проводятся в учебно-опытном хозяйстве ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА» на базе стационарного опыта кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии с 1987 года в шестипольном полевом зернопаропропашном севообороте: пар чистый (с 1996 года сидеральный) – озимая рожь – кукуруза – яровая пшеница – горох – овес. Опыт внесен в Государственный реестр длительных опытов Российской Федерации.

Схема опыта включает четыре системы основной обработки почвы:

1. Отвальная: послеуборочное лущение стерни БДТ-7 на 8-10 см, отвальная обработка ПЛН-4-35 под пар чистый, сидеральный и горох на 25-27 см, кукурузу на 28-30 см, яровую пшеницу и овес на 20-22 см. Вариант принят за контроль.

2. Плоскорезная: послеуборочная поверхностная обработка комбинированным агрегатом КПШ-5 + БИГ-3 на 8-10 см, плоскорезная обработка КПГ-2,2 на ту же глубину, что и в первом варианте.

3. Комбинированная в севообороте: послеуборочная поверхностная обработка КПШ-5 + БИГ-3 на 8-10 см и безотвальная обработка плугом со стойкой СибИМЭ под чистый и сидеральный пар на глубину 25-27 см; лущение стерни БДТ-7 на глубину 8-10 см и отвальная обработка ПЛН-4-35 под кукурузу и горох соответственно на 28-30 и 25-27 см; поверхностная обработка КПШ-5 + БИГ-3 на 8-10 см и плоскорезное рыхление КПГ-2,2 под яровую пшеницу и овес на 20-22 см.

4. Поверхностная: послеуборочная двухкратная обработка комбинированным агрегатом КПШ-5 + БИГ-3 под все культуры севооборота (кроме ози-

мой ржи) с интервалом в 10-15 дней: первая на глубину 8-10 см, вторая – на глубину 10-12 см.

Под озимую рожь измельченная масса сидерата заделывалась в почву двукратной обработкой БДТ-7 на глубину 10-12 см.

Предпосевная и послепосевная обработка почвы на всех вариантах была одинаковой и состояла из ранневесеннего боронования, предпосевной культивации на глубину заделки семян, послепосевного прикатывания, двукратной междурядной обработки в посевах кукурузы.

Полевой опыт заложен в трехкратной повторности, севооборот освоен в 1988 году. Посевная площадь делянки 350 м<sup>2</sup>, учетная 280 м<sup>2</sup>, расположение делянок систематическое. Возделывание культур осуществляется на фоне минимального использования минеральных удобрений (30-40 кг д.в. на гектар), заделываются пожнивно-корневые остатки и солома всех культур севооборота, химические средства защиты не применялись. Сидеральный пар введен в 1996 году. В сидеральном пару возделывается смесь вики и овса.

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднесуглинистый по гранулометрическому составу. Исходное содержание гумуса (1987 г.) на опытном поле составляло 4,94-5,12 %, обеспеченность подвижным фосфором была очень высокой (214 мг/кг), калием высокой (133 мг/кг), рН солевой 6,3-6,7. Сумма поглощенных оснований в верхнем горизонте составляла 28,8-39,0 мг-экв. на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями достигала 94,2-98,2 %.

### 1. Системы обработки почвы и плодородие чернозема

Анализ литературных сведений по изучению влияния систем обработки на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур показывает крайне противоречивый их характер. Не цитируя многочисленные работы по данной проблеме, отметим, что такая противоречивость в результатах исследований связана (как уже отмечалось выше) с разнообразным и глубоким влиянием обработки почвы на ее свойства и режимы в зависимости от природных условий и производственных ситуаций, с одной стороны, с другой – биологическими особенностями культур и их требованиями к условиям произрастания. Последние обуславливают необходимость всестороннего изучения систем обработки и влияния их на плодородие почвы, следовательно, и на продуктивность агроэкосистем в плане более полной адаптации их к конкретным почвенно-климатическим условиям в соответствии с требованиями культур.

#### 1.1. Изменение агрофизических параметров плодородия

Наиболее значимыми показателями агрофизического состояния почв являются плотность сложения, пористость общая, капиллярная и некапилляр-

ная, их соотношение, количество агрономически ценных агрегатов и их водопрочность.

Как показывают исследования, в зависимости от систем основной обработки почва приобретает значительно различающееся по показателям плотности и пористости строение пахотного слоя перед посевом культур. В среднем за первую ротацию зернопаропропашного севооборота более оптимальное строение пахотного слоя для пропашных культур и гороха обеспечивала отвальная система основной обработки почвы. При этом плотность 0-30 см-го слоя составляла 1,16 г/см<sup>3</sup>, общая пористость 55-56 % при соотношении капиллярных и некапиллярных пор, равным 2 (рис. 1). Близкие к приведенным показатели получены по комбинированной в севообороте системе основной обработки почвы. Более плотное сложение почвы наблюдалось по плоскорезной, и особенно поверхностной системе основной обработки почвы: общая пористость снижалась до 51-53 % при одновременном увеличении доли капиллярных пор до 39-41 % и уменьшении пор азрации до 12-13 %. Эти различия более ярко выражены с глубиной обрабатываемого слоя. В результате предпосевной и послепосевной обработки почвы плотность посевного слоя для большинства культур приобретала оптимальные значения и находилась в пределах 1,08-1,16 г/см<sup>3</sup>. Однако ниже 10-ти см-го слоя по плоскорезной и поверхностной обработкам почва уплотнялась до 1,25-1,30 г/см<sup>3</sup>. Одновременно резко снижалась доля некапиллярных пор (в отдельные годы по поверхностной обработке до 8-9 %), что сказывалось на большинстве почвенных режимов и урожайности требовательных к агрофизическому состоянию почв культур. Аналогичные данные получены во 2-й и 3-й ротациях севооборота.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в содержании общего количества агрономически ценных агрегатов размерами от 0,25 до 10 мм в пахотном слое почвы разницы между вариантами опыта практически не наблюдается. Однако по комбинированной в севообороте системе обработки почвы, которая сочетает разноглубинную вспашку под пропашные и горох, плоскорезное рыхление под яровые зерновые и безотвальную обработку плугом со стойкой СиБИМЭ под чистый и сидеральный пар, происходит заметное улучшение водопрочности структуры (рис. 1).

Общим требованием улучшения физических свойств почвы является оптимизация их гумусного состояния. Как будет показано ниже, более благоприятный режим органического вещества обеспечивает комбинированная в севообороте обработка почвы, что, по-видимому, и обусловило повышение водопрочности ее структуры по этому варианту.

#### 1.2. Формирование запасов продуктивной влаги

Учитывая сложные экологические условия Поволжья, отличающиеся неустойчивым характером



Рис.1. Основные агрофизические показатели пахотного слоя (0-30 см) чернозема выщелоченного в зависимости от систем основной обработки почвы. 1, 2, 3, 4 - варианты опыта;

□ – пористость капиллярная, ▨ – пористость некапиллярная,  
— – плотность почвы, ▩ – содержание водопрочных агрегатов.

увлажнения, и противоречивость мнений по данной проблеме, совершенствование систем основной обработки в плане более полного усвоения атмосферных осадков, накопления, сбережения и рационального использования влаги имеет первостепенное значение для земледелия региона.

Как показывают исследования, большое значение в формировании запасов влаги в условиях лесостепи Поволжья имеют осенне-зимние осадки, которые за сентябрь-апрель в среднем составляют 300-400 мм. В связи с этим ко времени возобновления вегетации озимых и сева ранних яровых культур в метровом слое почвы накапливается наибольшее количество продуктивной влаги (до 170-199 мм). При этом в условиях ровной местности и наличия лесополос существенных различий в накоплении запасов продуктивной влаги в зависимости от систем основной обработки почвы не наблюдается: различия между вариантами находятся в пределах 10-14 мм. Тем не менее, по всем полям севооборота они выше по комбинированной системе обработки почвы, где складываются более благоприятные условия для накопления и сохранения влаги.

Более резкое влияние системы основной обработки почвы оказывают на сохранение и продуктивное использование влаги, особенно в засушливые годы. При этом испарение влаги по плоскорезной и поверхностной обработкам почвы, придающим пахотному слою более плотное сложение, происходит более интенсивно и потери ее значительны (особенно при запаздывании со сроками сева). В метровом слое в среднем по севообороту они составляют 26-28 мм, в отдельные годы – до 35-45 мм и более. Более чем в 2 раза меньше потери влаги по комбинированной обработке почвы и в 1,5-1,6 раз – по вспашке.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы по чистому пару ко времени сева озимых при обработке плугом со стойкой СибИМЭ на 15-21 мм превышают остальные варианты. Следует отметить, что потери влаги по чистому пару за вегетационный период на физическое испарение и фильтрацию в глубокие слои значительны и достигают 300 мм и более, что сравнимо с расходом влаги на формирование урожайности полевых культур. Расход влаги в посевах ранних яровых культур составляет 319-352 мм, кукурузы – 285-322 мм. В зависимости от систем обработки почвы заметных различий в расходе влаги в посевах культур не наблюдалось. Тем не менее более экономное использование влаги обеспечивала комбинированная в севообороте система основной обработки почвы.

Введение в севооборот сидерального пара вместо чистого отрицательно сказалось на накоплении продуктивной влаги перед посевом озимой ржи. Если по чистому пару в метровом слое почвы к моменту сева культуры накапливалось от 164 до 185 мм, то с введением сидерального пара запасы продуктивной влаги уменьшились до 78-88 мм в зависимости от систем основной обработки почвы. Однако преимущество комбинированной в севообороте системы обработки в этом отношении сохраняется. Следует также отметить, что этих влагозапасов было достаточно для получения нормальных всходов, которые в слое 0-20 см в среднем составляют от 30 по отвальной обработке и до 35 мм по комбинированной в севообороте системе основной обработки. В сидеральном пару значительная часть влаги идет на формирование зеленой массы сидерата и уменьшается непродуктивное физическое испарение благодаря затенению поверхности почвы культурными растениями.

### 1.3. Биологическая активность и питательный режим почвы

Наблюдения за распадом льняной ткани в зависимости от систем основной обработки под посевами культур показали, что влияние их на биологическую активность почвы определяется изменением при этом соответствующих режимов и показателей. В условиях резкого недостатка влаги деятельность микроорганизмов в верхнем слое почвы (0-10 см) почти прекращается и мало зависит от систем обработки. Ниже этого слоя она была выше по комбинированной в севообороте и отвальной системам обработки почвы, которые обеспечивали большую сохранность влаги. В нормальные по условиям влагообеспеченности годы лимитирующим фактором деятельности микроорганизмов становится физическое состояние почвы. Увеличение плотности по плоскорезному фону, в т.ч. и по поверхностному, до 1,25 г/см<sup>3</sup> и более и уменьшение пор аэрации до 12% и менее приводит к значительному ухудшению условий деятельности микроорганизмов и снижению биологической активности почвы. Биогенность верхнего слоя почвы (0-10 см) по этим вариантам в связи с поверхностным размещением растительных остатков и органических удобрений выше и составляет 123-125% по отношению к вспашке.

С деятельностью микроорганизмов тесно связан питательный режим почвы. В наших опытах нитрификационная способность по всем полям севооборота была лучше выражена по отвальной системе основной обработки почвы, что вполне объяснимо лучшими условиями аэрации при прочих равных условиях. При этом наблюдается четко выраженная дифференциация пахотного слоя по содержанию нитратного азота: азотминерализующая способность верхнего слоя заметно выше по плоскорезному фону обработки, тогда как по вспашке происходит равномерное распределение нитратов по глубине.

Необходимо отметить, что содержание нитратного азота высокое по всем вариантам обработки почвы (от 80 до 110 мг/кг) и следует, по-видимому, согласиться с авторами [5,6,4], которые считают, что бесплужные обработки способствуют более рациональному использованию минерального азота почвы. Однако дифференциация его по профилю почвы может создать в определенные периоды вегетации растений напряженность в азотном питании культур.

Содержание подвижного фосфора при определении его по методу Чирикова мало зависело от систем обработки и составляло от 225 до 295 мг/кг почвы по всем вариантам опыта. По нашему мнению, более полное представление о степени доступности фосфора в почвах близко к нейтральной и нейтральной реакции среды дает извлечение его 0,006 н HCl по Францессону. Определение фосфора по Францессону в наших опытах показало четко выраженную зависимость степени его доступности растениям от систем обработки почвы. В среднем она в 1,3 раза выше по плоскорезной и в 1,5 раза – по поверхностной обработке по сравнению со вспашкой. Как показывают наблюдения за реакцией почвенного раствора, по безотвальным спо-

собам обработки происходит смещение реакции среды в кислую сторону, что, по-видимому, создает условия для мобилизации фосфора в доступной форме. Определение фосфора по Францессону показывает иную картину обеспеченности им растений. При этом степень доступности фосфора растениям по отвальной и комбинированной системам обработки почвы средняя, по плоскорезной – повышенная и высокая – по поверхностной обработке. Однако по последним вариантам наблюдается дифференциация подвижных P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> по слоям почвы, особенно резко выраженная по поверхностной обработке. Последнее может стать одной из причин депрессии урожайности культур по плоскорезному, и особенно поверхностному фону.

Калийный режим почвы более стабилен и в меньшей степени зависит от систем обработки. Тем не менее, по отвальной и комбинированной в севообороте системам обработки почвы распределение подвижного калия по пахотному слою более равномерное. Степень обеспеченности подвижным калием при этом повышенная; по-видимому, безотвальные обработки в целом не ухудшают калийного режима чернозема выщелоченного и условия его поступления в растения.

### 1.4. Содержание и качественный состав гумуса

В условиях интенсивного земледелия, когда постоянным его спутником становится дегумификация почв, одним из важнейших факторов регулирования гумусового режима и воспроизводства плодородия становится выбор экологически адаптивных, максимально отвечающих требованиям культур систем обработки почвы. Как показывают исследования, в первой ротации севооборота, несмотря на внесение навоза из расчета 10 т/га и использование в качестве органического удобрения соломы зерновых культур при доле в севообороте 16,6% чистого пара и столько же интенсивной пропашной культуры (кукуруза), ни отвальная, ни плоскорезная (в т.ч. и поверхностная) системы обработки почвы не обеспечивали простого воспроизводства содержания гумуса (рис. 2).

При этом различия между этими вариантами были небольшие и находились в пределах 0,04-0,08%. Почти бездефицитный баланс гумуса за этот период наблюдался только по комбинированной в севообороте обработке почвы. Преимущество комбинированной в севообороте обработки в поддержании гумусного состояния почвы на исходном уровне наиболее наглядно проявляется при определении динамики содержания и запасов гумуса за периоды исследований. Только эта система обработки, несмотря на снижение объемов поступления свежего органического вещества в почву (с 1996 года в связи с заменой чистого пара сидеральным навозом при возделывании культур не применяется), обеспечила за 1988-2004 гг. близкий к бездефицитному баланс гумуса, тогда как по отвальной обработке содержание его к моменту прохождения третьей ротации севооборота снизилось до 4,4%.

Наиболее благоприятным для гумификации и

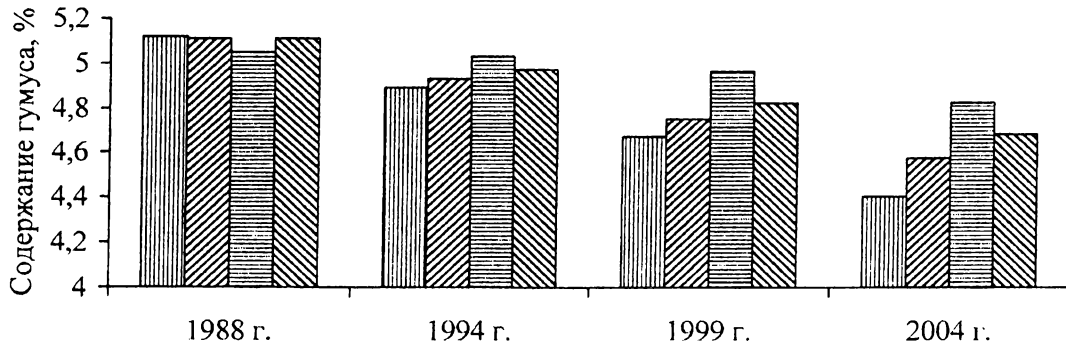


Рис.2. Изменение содержания гумуса в пахотном слое чернозема выщелоченного (0 – 30 см) в зависимости от систем основной обработки почвы

– основная обработка отвальная      – плоскорезная  
 – комбинированная в севообороте      – поверхностная

закрепления в почве образующихся гумусовых веществ считается чередование оптимальных условий увлажнения с недостатком влаги, вследствие чего интенсивная деятельность микроорганизмов сменяется их депрессией и фиксацией в почве образовавшихся гумусовых веществ [1]. Такие условия в большей степени возможны по комбинированной в севообороте обработке почвы, что обеспечивает преобладание процессов гумификации органического вещества над его минерализацией. К тому же при этом в почву поступает большее по сравнению с другими вариантами количество растительных остатков.

Следует отметить, что по плоскорезной системе обработки наблюдается снижение содержания гумуса в верхнем слое почвы (0-10 см) по сравнению со вспашкой, несмотря на то, что все растительные остатки практически заделываются в этот слой. По-видимому, повышение общей биогенности этого слоя сопровождается усиленной их минерализацией, что подтверждается повышенным содержанием в этом слое основных элементов питания ( $N-NO_3$ ,  $P_2O_5$ ), связанных с органическим веществом.

Наряду с количественными большое значение имеют качественные характеристики гумуса почв, основным из которых является групповой и фракционный состав. Наибольшие изменения в составе гумуса, по нашим исследованиям, происходят за счет его более подвижной части. При этом количество подвижных гумусовых веществ в пахотном слое почвы (0-30 см), переходящих в 0,1 н щелочную вытяжку, заметно больше по отвальной системе обработки и составляет 11,6% от общего содержания гумуса, тогда как по плоскорезной системе – 8,2%. В то же время по плоскорезной обработке возрастает сумма фульвокислот, в основном за счет фракции, связанной с кальцием. Следует также отметить, что при относительно близкой сумме всех

фракций по плоскорезной обработке наблюдается довольно резкое снижение отношения гуминовых и фульвокислот с глубиной, которое в слое 20-30 см становится равным единице. Все это свидетельствует о сдвиге почвенно-биохимических процессов при ежегодном применении плоскорезной системы основной обработки почвы в сторону фульватизации гумусовых веществ.

### 1.5. Структура сорного компонента агрофитоценозов

Изучение состояния засоренности посевов показало, что замена отвальной системы основной обработки почвы на плоскорезную и поверхностную способствует определенным изменениям в структуре сорного компонента агрофитоценозов в сторону усиленного развития более вредоносных и трудноискоренимых сорняков: увеличивается доля многолетников (бодяк полевой, осот желтый, вьюнок полевой); из малолетников – овсюга, подмаренника цепкого, просовидных, видов смолесок (рис.3, 4).

Изменение доминантных видов сорных растений при минимализации обработки почвы связано с биологическими их особенностями: семена названных малолетников имеют длительный период биологического покоя и произрастают в основном после перезимовки. Послеуборочная провокация их прорастания в системе основной обработки в связи с этим сопровождается небольшим эффектом. В приповерхностном слое почвы семена их сохраняют всхожесть до 10 лет и более, что и обуславливает прогрессирующее увеличение засоренности ими при ежегодном применении безотвальных систем обработки почвы.

На фоне разных систем обработки почвы конкурентная способность культур различна. В посевах озимой ржи, при размещении ее по чистому пару, многолетние сорняки (до закладки опыта

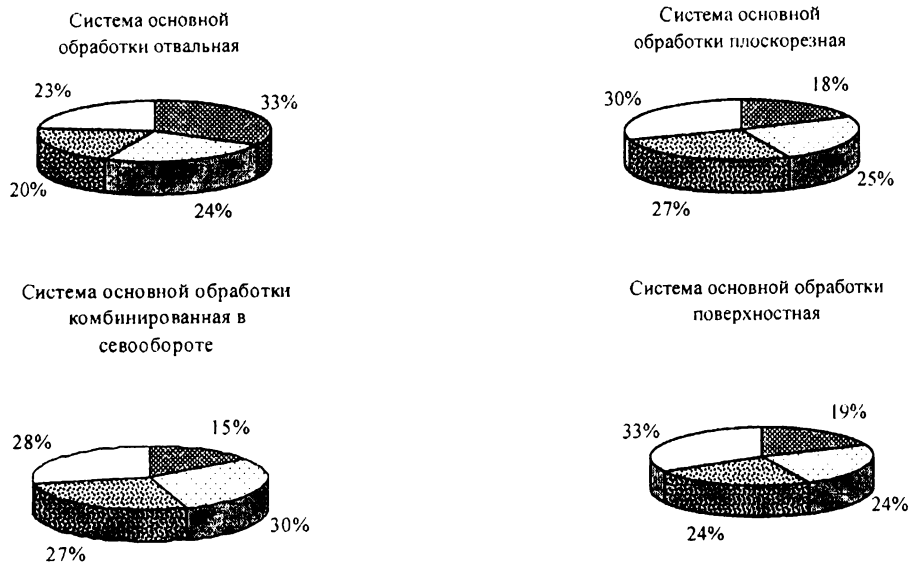


Рис. 3. Засоренность посевов яровой пшеницы малолетними сорняками (1998-2000 гг.)

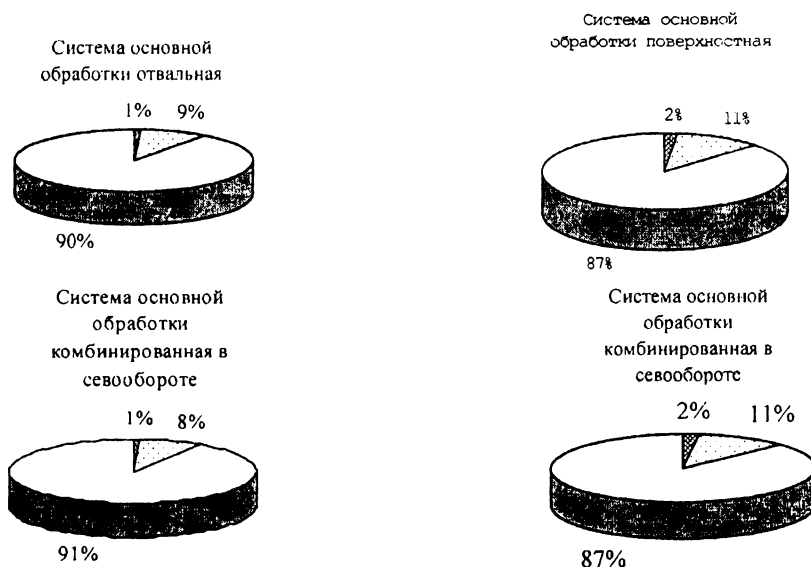
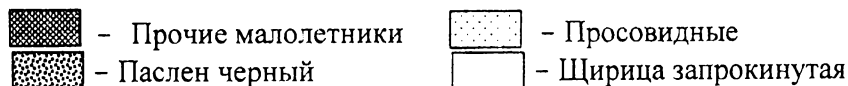


Рис. 4. Доля многолетних сорных растений в посевах яровой пшеницы (1998 – 2000 гг.)



видовой состав сорных растений был представлен малолетними формами) по плоскорезной и поверхностной обработкам в количестве 1 и 1,3 шт/м<sup>2</sup> появились только в конце ротации севооборота; по отвальной и комбинированной обработкам за 8 лет

не обнаружены. Наименее конкурентоспособными к многолетникам на фоне плоскорезной и поверхностной обработок почвы являются яровая пшеница, где численность их уже на второй год ротации севооборота составила 1,7 и 2 шт/м<sup>2</sup> и горох, в по-

севах которого многолетники появились на 3-й год и в среднем составили 2,9 и 4,5 шт/м<sup>2</sup>.

Наблюдения за засоренностью посевов яровой пшеницы (как наименее конкурентноспособной культуры) после введения сидерального пара показало, что происходит увеличение численности сорняков по сравнению с предыдущими годами. Однако наблюдается относительное снижение их массы.

Обращает на себя внимание то, что в последние годы наряду с трудноискоренимыми многолетними сорняками (осот желтый, бодяк полевой), отмечается, особенно по плоскорезному фону, тенденция к увеличению таких малолетников, как просо куриное, просо сорное, паслен черный и щирица запрокинутая (рис. 3 и 4). Их количество от общего числа малолетников составляет около 70%. Последнее обусловлено тем, что данные виды сорняков относятся к ксерофитам, следовательно, малочувствительны к дефициту влаги, прорастают в основном из верхних слоев почвы. Кроме того, семена данных видов малолетников имеют длительный период биологического покоя и прорастают в основном после перезимовки. В связи с этим послеуборочная провокация их прорастания (как указывалось выше) в системе основной обработки сопровождается небольшим эффектом. Следует отметить, что в поверхностном слое почвы семена просовидных сорных растений сохраняют всхожесть до 10 лет и более, тогда как при более глубокой заделке быстро теряют жизнеспособность.

Задачам борьбы с сорными растениями в наибольшей степени отвечает отвальная система обработки почвы, которая позволяет поддерживать засоренность посевов на более низком уровне без применения химических средств защиты: в среднем за годы исследований численность сорняков по этому варианту составила 72 шт/м<sup>2</sup>, тогда как по 2-му и 4-му – 91 и 102 шт/м<sup>2</sup>. Важно отметить, что по улучшению фитосанитарного состояния посевов комбинированная в севообороте обработка почвы не на много уступает отвальной по численности сорняков, а по сырой массе превосходит. Комбинирование в севообороте разных систем обработки почвы позволяет заделывать семена сорняков на разную глубину и лучше регулировать их численность. Кроме того, при этом создаются более оптимальные условия для роста и развития культур и повышается их конкурентоспособность.

Однако при ежегодно увеличивающейся численности сорняков эффективность систем основной обработки снижается, что вызывает необходимость сочетания агротехнических мер борьбы с химическими. Для поддержания уровня засоренности ниже экономических порогов вредоносности достаточно в конце ротации севооборота провести в осенний период обработку гербицидами сплошного действия.

## 2. Урожайность культур и качество продукции

В связи с изменением большинства почвенных режимов реакция культур на замену традиционной

отвальной системы основной обработки на плоскорезные и поверхностные в условиях лесостепи Поволжья различна (табл. 1).

Сильное влияние системы основной обработки почвы в первые же годы их применения оказали на формирование урожайности озимой ржи и кукурузы. При этом бесспорное преимущество в формировании урожайности озимой ржи имела система обработки, включающая послеуборочное рыхление КПШ-5+ БИГ-3 на 8-10 см и основную обработку плугом со стойкой СиБИМЭ с предварительной заделкой органических удобрений (навоз и солома) БДТ-7.

В отдельные годы урожайность озимой ржи по обработке плугом со стойкой СиБИМЭ превышала другие варианты до 5,4-10,4 ц/га. Анализ корреляционных связей урожайности культур с различными факторами показал, что наиболее сильное влияние на урожайность озимой ржи оказывают запасы продуктивной влаги в почве перед посевом в слое 0-20 см. Уравнение множественной корреляции при этом, включающее, кроме запасов продуктивной влаги, численность и массу сорняков на 1 м<sup>2</sup>, имеет вид параболы  $y=2,43+0,108x_1-0,005x_2+1,13x_3$ , где  $x_1$  и  $x_2$  численность и сырая масса сорняков,  $x_3$  – запасы влаги в слое 0-20 см. Вклад запасов продуктивной влаги на формирование урожайности озимой ржи при этом составляет 90%, тогда как влияние сорных растений при уровне численности до 40 шт/м<sup>2</sup> и сырой массы до 100 г/м<sup>2</sup> не превышает 10%. Как указывалось выше, большее количество продуктивной влаги по чистому и сидеральному пару ко времени сева озимых накапливается при обработке плугом со стойкой СиБИМЭ, что обуславливает, по-видимому, повышение урожайности данной культуры по этому варианту.

Сопряженный анализ урожайности кукурузы на силос и основных параметров плодородия показал наличие сильных линейных связей между урожайностью зеленой массы и содержанием в почве подвижных форм азота и фосфора, плотностью, общей пористостью и пористостью аэрации. Остальные изученные параметры связаны с урожайностью параболической зависимостью. В частности, связь урожайности с показателями засоренности и запасами продуктивной влаги описывается уравнением параболы общего вида:  $y=357-0,12x_1-0,094x_2+0,78x_3$ . При этом более благоприятные условия и почвенные режимы для роста и развития кукурузы обеспечивает вспашка, по которой урожайность ее во все годы исследований превышала плоскорезную и поверхностную системы обработки до 50-100 ц/га. В связи с особенностями корневой системы причиной снижения урожайности зеленой массы кукурузы по последним двум вариантам может стать и резкая дифференциация пахотного слоя по эффективному плодородию.

Ни одна из систем обработки почвы за первую ротацию севооборота в формировании урожайности яровых зерновых культур и гороха преимуще-

**1. Урожайность культур в зернопаропропашном севообороте  
в зависимости от систем основной обработки почвы за 1988 – 2005 гг.**

Основная обработка	Урожайность, ц/га				
	озимая рожь	кукуруза	яровая пшеница	горох	овес
Отвальная	37,5	456	24,7	21,9	33,8
Плоскорезная	36,4	354	22,1	20,7	31,4
Комбинированная в севообороте	37,7	428	23,1	23,5	33,7
Поверхностная	35,6	337	22,1	20,5	30,7
НСР <sub>05</sub>	Разница в урожайности по вариантам соответствующих лет достоверна за исключением отдельных культур в отдельные годы				

ства не имела. Однако, начиная с 1992 года наблюдалась устойчивая тенденция снижения урожайности их по плоскорезному (в т.ч. поверхностному) фону. Наиболее резко эта закономерность проявилась в 1994 и 1995 годах, контрастных по гидро-термическим условиям. В среднем за 1988-2005 годы более высокая урожайность яровой пшеницы получена по отвальной, гороха – по комбинированной, овса – по отвальной и комбинированной системам обработки; яровая пшеница и овес значительно снижают урожайность при минимализации обработки почвы. При этом достоверные линейные связи обнаружены между урожайностью гороха и показателями агрофизического состояния, содержанием подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое, запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом; между урожайностью яровой пшеницы и показателями засоренности посевов. Урожайность овса меньше зависит от засоренности посевов при численности сорняков до 40-50 шт/м<sup>2</sup> и сырой массе их до 70-180 г/м<sup>2</sup>, однако наблюдается сильная корреляция ее с подвижными формами азота, фосфора и калия. Вследствие этого резкая дифференциация пахотного слоя по элементам питания может стать одной из существенных причин снижения урожайности овса по поверхностной обработке почвы.

Таким образом, в условиях лесостепи Поволжья наиболее эффективной основной обработкой под озимые культуры при размещении по чистому и сидеральному пару является обработка плугом со стойкой СибИМЭ на 25-27 см, под пропашные и горох – вспашка на 28-30 и 25-27 см, под яровые зерновые возможна плоскорезная на 20-22 см. Возможность применения плоскорезной обработки почвы под яровую пшеницу ограничивается фитосанитарным состоянием посевов, овес заметно снижает урожайность при поверхностных обработках. Порог депрессии урожайности яровых зерновых культур при ежегодном применении плоскорезной

обработки почвы наступает через 4 года, пропашных – в первый же год. Наиболее высокие урожаи гороха и овса возможны по комбинированной в севообороте системе обработки почвы.

### 3. Биоэнергетическая эффективность

Критерии экономической оценки (цена, прибыль, себестоимость, рентабельность) не отражают процесса функционирования агроэкосистемы с экологических позиций. Кроме того, за пределами системы оценок остается энергетический ресурс основного компонента агроэкосистемы – почвы. Энергетический анализ позволяет анализировать потоки вещества и энергии в агроэкосистемах и может дать объективную оценку эффективности затрат на формирование биомассы культурных растений и определить пределы производительности агроэкосистемы для данных биоклиматических условий, что исключает бессмысленное увеличение затрат [3; 2].

Результаты оценки биоэнергетической эффективности зернопаропропашного севооборота в зависимости от систем основной обработки почвы показывают, что заметных различий в затратах техногенной энергии на возделывание культур по вариантам опыта не наблюдалось (табл. 2). Тем не менее, по поверхностной обработке они на 6,5 % были ниже, чем по вспашке.

Без учета некомпенсированной энергии гумуса на формирование урожаев культур биоэнергетический коэффициент по вариантам опыта также почти не различался. Однако при учете затрат энергии гумуса на формирование урожайности культур соотношение коэффициентов энергетической эффективности севооборота в зависимости от систем основной обработки почвы резко меняется. Наиболее энергосберегающей является комбинированная в севообороте система обработки почвы, эффективность которой в 1,6-1,9 раз выше по сравнению с другими вариантами. Отвальная система обработки почвы, хотя и создает условия для по-



## 2. Биоэнергетическая эффективность зернопаропропашного севооборота в зависимости от систем основной обработки почвы (1988 – 1995 гг.)

Показатели		Система основной обработки				
		отвальная	плоскорезная	комбинированная в севообороте	поверхностная	
Урожайность основной продукции, ц/га абс. сухого вещества		37,2	34,2	36,9	32,8	
Накоплено фитомассы, ц/га абс. сухого вещества		96,6	91,5	97,3	89,0	
Затраты техногенной энергии, ГДж/га		32,2	31,2	32,1	30,1	
Общие затраты энергии с учетом расхода гумуса на формирование биомассы, ГДж/га		62,7	56,3	34,8	50,1	
Накоплено энергии, ГДж/га		в основной продукции	80,9	75,0	80,7	72,1
		в фитомассе	164,3	155,2	165,4	150,9
Биоэнергетический коэффициент	без учета расхода энергии гумуса	основной продукции	2,51	2,40	2,51	2,40
		фитомассы	5,1	5,0	5,2	5,0
	с учетом расхода энергии гумуса	основной продукции	1,3	1,3	2,3	1,4
		фитомассы	2,6	2,8	4,8	3,0
Затраты энергии на восстановление почвенного плодородия за счет внесения навоза, ГДж/га		27,9	22,6	2,4	18,2	

лучения более высоких урожаев ряда культур, но сопровождается большей минерализацией гумуса, в связи с чем эффективность ее значительно уступает комбинированной в севообороте обработке. Аналогичная закономерность сохранялась во второй и третьей ротациях севооборота.

Следовательно, при анализе потоков антропогенной энергии при производстве продукции в агроэкосистемах необходимо учитывать не только прямые и косвенные затраты техногенных ресурсов, но и расход энергии гумуса на формирование биомассы культур, с одной стороны, с другой – расход энергии на воспроизводство плодородия почвы, и прежде всего ее органического фонда. Объем использованной энергии гумуса не должен превышать уровня, при котором агроэкосистема теряет устойчивость и снижает продуктивность.

В связи с этим мы рассчитали энергетические затраты на восстановление почвенного плодородия за счет внесения навоза. По отвальной системе обработки почвы они составили 27,9 ГДж/га, по плоскорезной – 22,6, по поверхностной – 18,2 ГДж/га, что сравнимо с совокупными затратами техногенной энергии на возделывание культур. Комбинирование в севообороте систем обработки почвы позволяет снизить эти затраты до 2-3 ГДж/га.

Таким образом, наиболее полная оценка продуктивности агроэкосистем возможна только на основе учета расхода гумуса на формирование урожайности, а использование в дополнение к экономическим энергетическим критериям позволяет дать более строгую оценку технологиям возделывания культур.

### Выводы

1. Оптимальные агрофизические параметры плодородия почвы для большинства культур обеспечивает комбинированная в севообороте система обработки. При этом плотность пахотного слоя составляет 1,16-1,18 г/см<sup>3</sup>, общая пористость 54-56%, отношение капиллярной и некапиллярной пористости 2,0-2,3, содержание водопрочных агрегатов более 70%. Плоскорезное рыхление и поверхностные обработки почвы приводят к уменьшению общей пористости (до 51-53%) при одновременном увеличении доли капиллярных пор и уменьшении пор аэрации.

2. Благоприятное агрофизическое состояние почвы на фоне комбинированной в севообороте обработки позволяет накапливать до посева культур больше продуктивной влаги по сравнению с другими вариантами. В связи с более плотным строением почвы потери влаги в начале вегетации по плоскорезной и поверхностной обработкам превышают остальные варианты и составляют в метровом слое в среднем по севообороту 26-28 мм, в отдельные годы до 35-45 мм и более.

3. Биогенность верхнего слоя почвы (0-10 см) по безотвальным способам обработки в связи с поверхностным размещением растительных остатков и органических удобрений составляет 123-125% по отношению к вспашке, что обуславливает дифференциацию пахотного слоя по содержанию нитратов и подвижных форм фосфора с локализацией большей их части в поверхностном слое. Калийный режим более стабилен и в меньшей степени зависит от систем обработки почвы.

4. При сочетании систем основной обработки в соответствии с требованиями культур в среднем по севообороту в почву поступает большее количество растительных остатков и создаются более благоприятные условия для их гумификации, что обеспечивает почти бездефицитный баланс гумуса. При ежегодном применении плоскорезной системы обработки почвы наблюдается сдвиг почвенно-биохимических процессов в сторону фульватизации гумусовых веществ.

5. В зависимости от систем основной обработки почвы происходит значительная перестройка сорного ценоза как по видовому, так и численному составу. Ежегодное применение плоскорезной обработки почвы, особенно ее минимализация за счет уменьшения глубины, приводит к нарастанию засоренности посевов, прежде всего корнеотпрысковыми сорняками, овсюгом, просовидными, подмаренником цепким и видами смолевков. Задачам борьбы с сорными растениями в наибольшей степени соответствуют отвальная и комбинированная в севообороте системы обработки почвы, которые позволяют поддерживать уровень засоренности посевов в зернопаропропашных севооборотах в пределах 50-70 шт/м<sup>2</sup> без применения химических средств защиты.

6. Установлены регрессионные модели продук-

тивности культур в зависимости от биотических и абиотических факторов. Более значимыми факторами в формировании урожайности озимой ржи являются запасы продуктивной влаги перед посевом; кукурузы на силос – агрофизическое состояние пахотного слоя, запасы продуктивной влаги перед посевом и наличие элементов питания в доступной форме; гороха – запасы продуктивной влаги перед посевом, агрофизические параметры и содержание доступного фосфора в почве; яровой пшеницы – фитосанитарное состояние посевов; овса – наличие подвижных форм элементов питания по всей глубине пахотного слоя.

7. Комбинированная в севообороте система основной обработки почвы является наиболее энергосберегающей, биоэнергетическая эффективность которой более чем в 1,5 раза превышает остальные варианты.

8. Затраты энергии на восстановление почвенного плодородия за счет внесения органических удобрений по отвальной системе обработки почвы составляют 27,9 ГДж/га, по плоскорезной – 22,1, по поверхностной – 18,2 ГДж/га, что сравнимо с совокупными затратами техногенной энергии на возделывание культур. Наиболее полная оценка продуктивности агроэкосистем возможна только на основе учета затрат энергии гумуса на формирование биомассы культур.

### Литература

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации.– Л.:Наука, 1980.– 286 с.
2. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов. Пушино: ОНТИ НЦБН АН СССР. –1986.– 209 с.
3. Володин В.М. Оценка эффективности функционирования агроландшафта на биоэнергетической основе. / Материалы III съезда Докучаевского общества почвоведов. – М., 2000.– С. 136-138.
4. Казаков Г.И. Дифференциация обработки черноземных почв в Среднем Поволжье.– Самара, 1997.– 200 с.
5. Милащенко Н.З., Зерфус В.М. Мобилизационные процессы и пищевой режим выщелоченного чернозема при сокращении числа механических обработок. / Вопросы обработки почвы. – М., 1979. – С 167-174.
6. Салишев Л.И., Бахтизин Н.Р. и др. Минимальная обработка и воспроизводство плодородия типичного чернозема.– Уфа, 1993.– 120 с.

УДК 631.872:631.461:631.559

## ВЛИЯНИЕ СОЛОМЫ НА ОСЕННЕ-ВЕСЕННЮЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МИКРОФЛОРЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЗЕМА ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

*Г.В.Колсанов, к.с.-х.н., Д.А.Васильев, д.б.н., Е.А.Корнеев, ассистент, Ульяновская ГСХА*

Солома подобно пожнивно-корневым остаткам в год внесения вызывает усиление жизнедеятельности микрофлоры, что нередко приводит к снижению урожайности удобряемой сельскохозяйственной культуры (Кольбе Г., Штумпе Г., 1972). Как показали исследования, происходит это по двум причинам. Первая состоит в том, что солома, осо-

бенно злаковых культур, относительно бедна азотом. В результате микроорганизмы, усваивающие органический азот (УОА), при ее разложении используют минеральный азот почвы, отнимая его у культурных растений: Ф.Ю. Муррей, 1921; Х. Хадчинсон, Е. Ричардс, 1921; и др. [цит по Г.Кольбе, Г.Штумпе, 8]. Вторая причина в том, что в соломе