

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
(ФГБНУ «Курский ФАНЦ»)

А. С. Акименко

**Севооборот — основа согласования
хозяйственных и экологических целей**
Приглашение к размышлению



Курск — 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
(ФГБНУ «Курский ФАНЦ»)



А. С. Акименко

**СЕВООБОРОТ – ОСНОВА
СОГЛАСОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ
ПРИГЛАШЕНИЕ К РАЗМЫШЛЕНИЮ**

Курск – 2024

УДК 631.582
А39

Акименко Александр Сергеевич

Севооборот – основа согласования хозяйственных и экологических целей. Приглашение к размышлению [Текст]: монография / А. С. Акименко. – Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2024. – 185 с.: 16 ил., 32 табл., 7 прил.

Обеспечение эффективного использования пахотных земель одновременно с минимизацией и даже устранением отрицательных экологических последствий возможно на основе: использования закономерностей в формировании урожайности в связи с наличием и потреблением «даровых» природных ресурсов, определяющих целесообразные нормы удобрений; выбора специализации хозяйств и разработки структуры посевных площадей в соответствии с принципами адаптивно-ландшафтного земледелия; неукоснительного соблюдения «закона возврата»; увеличения для воспроизводства плодородия почвы объемов биологического азота за счёт расширения посевов многолетних бобовых трав.

Монография рассчитана на широкий круг ученых и специалистов в области земледелия и агропочвоведения, будет полезна сельхозтоваропроизводителям, преподавателям ВУЗов, аспирантам и студентам.

Область применения – земледелие.

Рецензенты:

В. Т. Лобков – заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор Орловского ГАУ им. Н. В. Парахина;

А. Г. Ступаков – доктор сельскохозяйственных наук, профессор агрономического факультета Белгородского государственного аграрного университета им. В. Я. Горина;

В. И. Лазарев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Курский федеральный аграрный научный центр.

Монография рассмотрена и одобрена Ученым советом ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (протокол № 1 от 1.02.2024 г.)

© А. С. Акименко

© Курский федеральный аграрный научный центр, 2024

ISBN 978-5-6051166-5-3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ВСТУПЛЕНИЕ	8
Глава 1. ИЗ ИСТОРИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ПРИРОДЕ.....	10
Глава 2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕСУРСОВ УРОЖАЙНОСТИ	17
2.1 Природные ресурсы урожайности	17
2.2 Закономерности в использовании посевами воды и формировании почвенных влагозапасов.....	22
2.2.1 Накопление посевами энергии в связи с расходом воды	22
2.2.2 Формирование запасов почвенной влаги	26
2.3. Закономерности для воспроизводства почв	33
2.3.1 Взаимосвязь в использовании воды и азота	43
2.4 Пути повышения эффективности факторов урожая	47
Глава 3. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СОВРЕМЕННОГО СЕВООБОРОТА .	52
3.1 Общие положения	52
3.2 Биологизация как фактор воспроизводства плодородия почвы	55
3.2.1 Перспективы органического земледелия	63
3.3 Неизменная функция севооборота	66
3.3.1 Управление вещественно-энергетическими потоками в севооборотах	77
Глава 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ И СИСТЕМЫ СЕВООБОРОТОВ	85
4.1 Дифференцированное использование пашни	85
4.1.1 Дифференциация с учетом рельефа	87
4.1.2 Дифференциация в связи с агроэкологическими требованиями культур	92
Глава 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ, СХЕМ СЕВООБОРОТОВ И ИХ СИСТЕМЫ	99

5.1 Принципиальные положения проектирования	99
5.2 Системность методологии проектирования	105
5.3 Алгоритм проектирования системы севооборотов	110
5.4 Разработка схем севооборотов	115
5.4.1 Обеспечение устойчивости производства зерна в севооборотах Центрального Черноземья	123
5.5 Экономико-экологическая оценка севооборотов и их систем	130
Глава 6. ПЕРСПЕКТИВЫ СБЛИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	137
6.1 Научный задел на перспективу	137
6.2 Современные сложности для экологизации сельскохозяйственного производства	147
6.3 Гармонизация сельскохозяйственного производства – путь к эффективному и экологичному земледелию	152
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	156
ПРИМЕЧАНИЯ	157
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	160
ПРИЛОЖЕНИЯ	174

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сельскохозяйственное производство – отрасль природопользовательная, системоорганизующая роль в которой принадлежит земледелию. Научный и организационно-технологической основой систем земледелия является севооборот, интегрирующий в себе землеустройство, структуру посевных площадей, отражающие специализацию сельхозпредприятий, подбор и целесообразное размещение полевых культур. Схемами севооборотов определяются системы обработки почвы, удобрений, защиты растений. Следовательно, севооборот вполне пригоден в качестве основы для согласования экономических и экологических целей и как территориальный объект на пашне, и как процесс смены культур на полях. В построении рецензируемой работы последовательно развивается вопрос о сочетании эффективного использования ресурсов урожайности с предотвращением отрицательного влияния на окружающую среду, в том числе водной эрозии почв и снижения их плодородия.

В первой главе автор позиционирует себя как противника идеи об «конечной емкости биосферы» (фактическом обосновании необходимости регулирования численности населения) и как сторонника совместной эволюции общества и природы; определяет почву базисом биосферы в Центральном Черноземье, а земледелие ведущим видом природопользовательной деятельности общества; справедливо настаивает на необходимости регулирования искусственной среды, обосновывая это большой долей пашни в землепользовании; перечисляет возможные отрицательные экологические последствия полеводства – эрозия почвы и истощение её плодородия, загрязнение почвы и воды агрохимикатами, выделение в атмосферу парниковых газов.

В главе 2 (количественные закономерности в использовании ресурсов урожайности) перечислены составляющие природно-ресурсного потенциала продуктивности пашни и описаны количественные закономерности в накоплении посевами энергии в связи с потреблением ресурсов урожайности. Эти закономерности не противоречат положению о неодинаковых требованиях разных растений к условиям среды, но отражают тот факт, что многие условия являются

одновременно ресурсами. Потребление последних и описывают эти закономерности, установленные и апробированные на обширном экспериментальном материале.

Наиболее значимой в научно-практическом отношении эмпирической взаимосвязи между накоплением энергии и расходом посевами воды в рецензируемой работе впервые дано теоретическое объяснение на основании законов сохранения энергии и не убывания энтропии и направленностью процессов в растениях (открытая система) в сторону установления теплового равновесия с окружающей средой за счёт обмена веществом и энергией.

Закономерности в использовании воды посевами конкретных культур и в формировании почвенных влагозапасов важны как в хозяйственном, так и в экологическом отношении. Большое потребление воды полевыми культурами наряду с ростом продуктивности пашни ведет к большому иссушению почвы и, следовательно, к лучшему поглощению ею атмосферных осадков, то есть к уменьшению поверхностного стока и сопряженной с ним эрозионной опасностью. В свою очередь, повышение интенсивности влагооборота (соответственно аэрации почвы) в чередованиях культур способствует благоприятному соотношению между анаэробными и аэробными бактериями в почве, которое важно для предотвращения эмиссии закиси азота в атмосферу.

Не меньшее практическое и природоохранное значение имеет закономерная связь между содержанием обменной энергии (энергетический эквивалент кормовых единиц) в фитомассе и выносом азота. Поскольку рост урожайности по мере повышения доз азота в удобрительных средствах ограничен уровнем влагообеспеченности, то мониторинг последней необходим для принятия решений о нормах применения этого элемента минерального питания как в плане экономической целесообразности, так и с позиций уменьшения опасности эвтрофикации водоёмов.

Следует отметить, что рост урожайности за счёт улучшения азотного питания растений практически не сопряжен с увеличением расхода воды и объясним большим усвоением углекислого газа благодаря увеличению площади

листовой поверхности. Из-за этого, однако, возможен экономический риск, так как почвенные влагозапасы ко времени колошения зерновых культур на высокоудобренном фоне бывают почти наполовину меньшими сравнительно с неудобренным вариантом, что предопределяет снижение урожайности при отсутствии осадков в последующий период.

Проблема воспроизводства плодородия почв является и экологической (почва – базис биосферы в регионе) и хозяйственной, так как при снижении плодородия почвы уменьшается и производительность пашни. Отчуждение обменной энергии с товарной частью урожая взаимосвязано с балансом гумуса, который обоснованно считается стражем плодородия. В свою очередь имеется связь между балансом азота и гумуса, поскольку две трети содержания обменной энергии определяется выносом азота, а при благоприятных погодных условиях высокая урожайность формируется в основном за счёт минерализации органического вещества почвы.

В третьей главе (теория и практика современного севооборота) отмечена непригодность закономерностей в использовании ресурсов формирования урожайности применительно к бессменным посевам полевых культур вследствие ослабления интенсивности переноса веществ в системе «почва – растение»; показано изменение во времени продуктивности пашни в зависимости от уровня удобренности севооборотов и степени их биологизации; высказано сомнение относительно перспективности органического земледелия из-за ограниченных возможностей для полного воспроизводства плодородия.

На основании системного анализа сходств и различий между естественными фитоценозами и агроценозами сделано заключение, что наиболее общая и неизменная функция севооборотов заключается в обобщении, накоплении и использовании информации. Следовательно, севообороты являются информационной основой и для эффективного использования ресурсов продуктивности пашни, а информация необходима для принятия безошибочных решений, то есть для управления. Пригодность закономерностей в использовании ресурсов для управления вещественно-энергетическими потоками в севооборотах

показана на примере конкретных экспериментальных данных многолетних стационарных опытов.

Соблюдение экологических принципов формирования структуры посевных площадей и системы севооборотов (глава 4) обязательно в качестве альтернативы развитию эрозионных процессов и необходимо с позиций высокоэффективного использования природно-ресурсного потенциала. В адаптивно-ландшафтном земледелии сочетание экологического и хозяйственного оптимумов достигается путём дифференцированного использования пахотных земель с учётом эрозионной опасности и требований культурных растений к условиям внешней среды, что запрещает установление специализации сельхозпредприятий только по экономическим соображениям.

В пятой главе обозначены принципиальные различия и требования к проектам при зональных и адаптивно-ландшафтных системах земледелия, показан алгоритм проектирования системы севооборотов с описанием применяемых на каждом этапе методов, окончательно разъяснен порядок проведения расчетов при разработке схем севооборотов и приведен пример их экономико-экологической оценки.

В заключительной главе предложено скорректировать сельскохозяйственное производство в направлении востребованности многолетних бобовых трав для увеличения обеспеченности земледелия биологическим азотом.

Заслуженный деятель науки Российской Федерации,
Доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Профессор Орловского ГАУ им. Н. В. Парахина



В. Т. Лобков

Никакую проблему нельзя решить на том же уровне, на котором она возникла.

Альберт Эйнштейн

*Кушай тюрю, Яша
Молочка уж нет.
Где коровка наша?
Увели мой свет.
А.Н. Некрасов*

ВСТУПЛЕНИЕ

Проблема наличия пищевых ресурсов – необходимое условие для удовлетворения главного инстинкта всего живого, инстинкта питания. Решению её в историческом прошлом существенно способствовал переход людей от промысла к хозяйству, то есть к развитию земледелия и животноводства. Следствием неолитической революции стало увеличение численности населения, проблема пропитания которого на протяжении тысячелетий решалась за счёт территориальной экспансии, возможности которой не беспредельны.

По мере сокращения использования готовых даров природы человечество одновременно усиливало эксплуатацию важнейшего природного ресурса – естественного плодородия почвы. В настоящее время высокая урожайность обеспечивается за счёт возросших технических возможностей и увеличения наукоёмкости производства: селекционных достижений, применения высоких норм удобрений, защиты растений от вредителей и болезней преимущественно за счёт химических препаратов. Негативные экологические последствия химической интенсификации земледелия можно существенно уменьшить за счёт управления вещественно-энергетическими потоками в системе «почва – растения – окружающая среда» посредством состава и чередования культур на основе принятия решений с использованием закономерностей в формировании урожайности в связи с потреблением воды и элементов минерального питания.

Однако, этого недостаточно для предотвращения нарастающей со всей очевидностью опасности потери почвы из-за несоблюдения основного закона земледелия, закона возврата.

Основной, но не единственной, причиной снижения содержания в почве гумуса является отрицательный баланс азота из-за отчуждения его с товарной частью урожая. Устранить этот дисбаланс в широком масштабе только за счёт возрастающих доз химического азота проблематично как в силу дороговизны последнего, так и из-за непредсказуемых последствий. Лидирующий процент биологического азота – это многолетние бобовые травы, которые к настоящему времени оказались невостребованными из-за отсутствия потребителей. Поэтому, в Центральном Черноземье неизбежна корректировка структуры сельскохозяйственного производства под государственным управлением в сторону расширения производства молока с кормовой базой преимущественно на основе многолетних трав.

*Если не будешь знать событий,
случившихся до твоего рождения, то
останешься вечно ребёнком.*

Цицерон Марк Туллий

*Открытие земледелия, сделанное более
чем за 600 поколений до нас, решило все
будущее человечества.*

В. И. Вернадский

Глава 1. ИЗ ИСТОРИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ПРИРОДЕ

В ходе развития человечества около 10 тыс. лет назад начался процесс перехода от присваивающей экономики, основанной на охоте, рыболовстве и собирательстве к принципиально новой системе – наряду с добычей пищи возникло её производство [1, 2]. Значение этого перелома, названного «неолитической революцией», трудно переоценить.

В течение сотен тысячелетий все общины людей, даже самые опытные и живущие в оптимальном естественном окружении, были ограничены в своих хозяйственных возможностях лишь использованием готовых даров природы. Поэтому человек находился в прямой и полной зависимости от конкретной природной ситуации и природных катаклизмов, от условий конкретных территорий и сезонов года. В эту эпоху осваивались новые виды природных ресурсов, совершенствовались орудия и методы присвоения, углублялось общее познание окружающего мира, вырабатывались новые формы адаптации. Однако темп и масштаб этих процессов были заметно ограниченными.

Возникновение производящей экономики, в первую очередь земледелия и скотоводства, принципиально изменило характер взаимодействия человека и природы, существенно повысило приспособительные возможности человека. Сбор дикорастущих злаков в немногочисленных областях их естественного произрастания сменился выращиванием и переносом на новые земли со все более значительным расширением ареала их распространения при одновременном увеличении численности населения Земли.

«Неолитическая революция» привела к значительным последствиям. Человек стал активно воздействовать на природное окружение и изменять его, увеличивая необходимые жизненные ресурсы за счет искусственного распространения культивируемых растений и одомашненных животных на вновь осваиваемых землях. Изменился характер производительной деятельности, она стала направленной на расширение и беспредельное совершенствование самого производства, что способствовало техническому прогрессу и поиску эффективных форм организации труда. В сельскохозяйственном производстве эти последствия не утратили важности и к настоящему времени.

Первопричиной взаимодействия человека с природой была и остается потребность в пропитании. В 1798 г. было опубликовано эссе Т. Мальтуса «Опыт о законе народонаселения». Главный результат этого исследования – количество земли на одного жителя уменьшается во времени, что соответствовало фундаментальному открытию в биологии о размножении живых организмов по правилу геометрической прогрессии. Публикация указанной работы способствовала (правда без участия названного автора) появлению теорий, где всё ведущее к уменьшению численности населения объявлялось благом.

Развивая теорию дифференцированной ренты, К. Маркс на основании открытия Ю. Либиха о способности растений к минеральному питанию (до него считалось, что растения используют разлагающееся органическое вещество) и успехах применения совершенных севооборотов и агротехники в противоположность укоренившемуся представлению, что земледелие основано на труде, а не на расходах, показал зависимость плодородия почвы от вложения труда, капитала и знания. Справедливость этого тезиса подтвердилась ростом продуктивности земледелия при одновременном росте народонаселения в последующий исторический период.

Концепция Римского клуба, берущая начало от неомальтузианцев, но совершенно очевидно следующая из конечности земного пространства, основана на представлении о том, что пределы роста человечества превышают

емкость биосферы, а поэтому и необходимо решение демографической проблемы. Когда говорят, что население земли растет слишком быстро, имеют в виду, что этот рост не подкрепляется соответствующим увеличением жизненных ресурсов и в первую очередь главного из них – продовольствия.

Против ограничения численности населения имеется два неоспоримых довода – выживаемость популяции зависит от её размера (численности) и, главное, уникальностью человека как в масштабах Космоса, так и в силу свойств, которыми он выгодно выделяется в царстве «животные». В мире происходит, имеется в наличии и исчезает только то, что не запрещено законами природы. Возникновение и развитие жизни на земле стало возможным благодаря следующему сочетанию условий: расположение Солнца на периферии галактики, вдали от жесткого космического излучения; благоприятное расположение орбиты Земли вокруг Солнца – меньшая опасность перегрева сравнительно с Меркурием и Венерой, а также снижение опасности столкновения с другими космическими телами благодаря планетам гигантам на удаленных орбитах; масса Земли, достаточная для удержания атмосферы; большое содержание железа в ядре планеты создает магнитное поле Земли, которое защищает от «солнечного ветра»; наличие большого количества воды и достаточная толщина атмосферы предопределили образование озонового слоя; приливы и отливы под действием Луны способствовали перемещению жизни из воды на сушу. Благодаря перечисленному Земля предположительно является единственной в нашей галактике планетой с разумной жизнью, то есть налицо действие «закона больших чисел», соответственно которому совершаются самые маловероятные, но не противоречивые законам природы события. Носители разума – организованные обществом люди. Следовательно, сокращение численности населения – это ограничение потенций для открытий и изобретений, необходимых для коэволюции общества и природы.

Развитие земледелия практически повсеместно до 17-18 века было в основном экстенсивным и заключалось в увеличении доли пахотных земель при

одновременном увеличении численности населения. Так, в Европейской России за полтора столетия до реформы 1861 г. (отмена крепостного права) доля пашни увеличилась в 2,5 раза (с 7,9 до 20,0 % территории), а число лиц мужского пола (иные группы населения при ревизиях не учитывались) в 3,7 раза [3]. Улучшение материальных условий жизни в послереформенный период способствовало росту народонаселения и соответственно уменьшению землеобеспеченности. Поэтому возникла сильная необходимость переселения желающих в районы Поволжья и Западной Сибири, где имелись свободные пахотнопригодные земли. Гораздо раньше, в конце 15-го столетия, потребность в переселении возникла в странах Западной Европы. Итальянский философ Никколо Макиавелли (1469-1527) написал: «Нужна твердая власть и порядок, ибо почвы в любой стране не одинаково плодородны и не одинаково благоприятны для обитания. Это приводит к перенаселению одних мест и обнищанию других. Нужно перераспределить людей, которые возделывая землю делают её более плодородной» [цит. по 2].

По мере развития земледелия усиливалось его влияние на изменение окружающей среды. Палеонтологические исследования свидетельствуют, что в лесистых и кустарниковых районах Азии, Африки, Центральной и Южной Америки люди довольно быстро перешли к подсечно-огневой системе земледелия. В России уже в первой половине 19-го века заметно сократились площади, занятые лесом, который требовался для нужд отопления, лесохимической промышленности, плотницкого и столярного дела (сведенный лес в основном заменялся пашней); заметно менялся состав трав; наиболее сильно проявилось влияние человека на флору и фауну в степной полосе [3].

Изменения природной среды проявлялись все заметней и становились причиной усиливающегося беспокойства. В 1922 г. была издана брошюра известного в будущем ботаника, в 30-40-е годы 20-го столетия заведующего кафедрой Воронежского университета Б. М. Козо-Полянского под названием «Финал Эволюции», которая окончена утверждением «Весь органический мир отмечен знаком смерти, он гибнет, и его эволюция прекратилась с тех пор, как

в него вклинился процесс, который и является ликвидатором эволюции. Вечерняя заря органического мира уже наступила: близок вечер» [цит. по 4]. Известный «Римский клуб» отпустил человечеству 30-50 лет жизни, разумеется, если оно не образумится и не станет контролировать негативные процессы, протекающие в биосфере. Уже прошло больше половины обозначенного времени.

Современное человечество вступило в этап, исторически сравнимый с неолитом, а по своей будущей значимости, по-видимому, даже более важный. Неолитическая революция, как известно, была переходом от приспособления человека к условиям природы (собирательство, охота, рыболовство) к её сознательному и целесообразному преобразованию. В этой деятельности люди достигли громадных успехов, распространив её в конце концов на всю планету. Сейчас в промышленно развитых странах мало осталось неиспользованных или нетронутых территорий.¹⁾

Наращение экологических проблем в связи с ростом производства стало предметом обсуждения на Международной конференции ООН с участием правительств практически всех стран мира (Рио-де-Жанейро, 1992), на которой была принята Программа устойчивого развития человеческого общества [5, 6].

Экология, как наука, всегда была связана с проблемами охраны окружающей среды. Ещё в конце 19-го века исследователи обратили внимание на пагубное воздействие на окружающую среду неуправляемой капиталистической деятельности. Ф. Энгельс обосновал неизбежность экспансии промышленности в незагрязненные районы и сформулировал в качестве важнейшего положения социализма разумное размещение производственной деятельности. В конце девятнадцатого – начале двадцатого столетия русские и иностранные учёные разработали научные основы размещения охраняемых территорий, обосновывая необходимость их существования с позиций сохранения самовосстановительного потенциала природы. Эти разработки успешно реализовались в нашей стране ещё в довоенные годы, когда была создана разветвлённая и богатая сеть заповедников

для охраны редких и ценных видов для экологических исследований.

Классическая экология – это наука об отношениях организмов и их совокупностей между собой и с окружающей средой. К настоящему времени в оценке перспектив человека в ноосфере имеется два реально возможных пути: один – его фактическое вытеснение техникой, лишение условий и смысла существования, другой – развитие совместно с развитием биосферы и ноосферы «В широком мировоззренческом плане оппозиции сциентизма²⁾ и гуманизма соответствует противостояние идеологии универсальной эволюции, когда всё «низшее» служит материалом для «высшего» и коэволюции, предполагающей, что появление новых форм не лишает места во Вселенной предшествующие формы, ибо она бесконечна и бесконечно разнообразна» [7].

В коэволюции вместо призывов к «защите природы» или даже заботы о её рациональном использовании внимание и практические действия надо переносить на регулирование искусственной среды. Вместо надежд на ноосферу, которая будет управлять всем и вся (сравним с «рынок всё отрегулирует»), следует думать об управлении самой ноосферой, о приведении её к природе и к мере людей соотносительно с возможностями и знаниями общества для приспособления к инновациям. Обеспечение коэволюции естественного и искусственного, биосферы и ноосферы является основным условием выживания человечества.

В большинстве регионов с развитым сельскохозяйственным производством окружающая среда уже давно стала искусственной. Не ново и обустройство территории землепользования, заключающееся в выделении угодий различного хозяйственного назначения. В свою очередь пахотные земли разделяются на севообороты, севообороты на поля, поля на рабочие участки. Это начальный этап наведения «порядка в доме». Экология – греческое οἶκος – дом, место проживания и λόγος – учение. По Ю. Одуму, экология – это наука об организмах «у себя дома», а экономика означает искусство ведения домашнего хозяйства [8] и из всей фауны способностью осознано вести хозяйство в природе обладает только человек (общественное животное по К. Марксу).

Термин «экология» впервые предложил в 1866 г. Эрнст Геккель и определил её как «...познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения животных и растений, контактирующих друг с другом».

В Центральном Черноземье почва является базисом биосферы, а земледелие ведущим видом природопользовательской деятельности общества. Поскольку здесь на пахотные земли приходится практически более двух третей землепользования, то и согласование хозяйственных целей с экологическими немислимо без севооборотов, в которых взаимоотношения живого (растений) с живым (почвой) должно регулироваться в направлении высокоэффективного использования природных и антропогенных ресурсов урожайности.

Отрицательные последствия сельскохозяйственного производства (и земледелия, и животноводства) общеизвестны. Это эрозия почвы и истощение её плодородия; загрязнение почвы, водоёмов и грунтовых вод неиспользованными для формирования урожая агрохимикатами; выделение в атмосферу газов, могущих нарушить устойчивость функционирования биосферы планеты. Цель настоящей работы – показать возможность состава и чередования культур для (в любом случае смягчения) указанных отрицательных последствий и пути для устойчивого высокопродуктивного развития сельского хозяйства.

Всё, что есть в природе, математически точно и определено; хотя мы иногда сомневаемся в этой точности, но наше незнание не умаляет её.

М. В. Ломоносов

Глава 2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕСУРСОВ УРОЖАЙНОСТИ

Для установления количественной³⁾ взаимосвязи сопоставляемые величины должны иметь единое «мерило». Поскольку сельскохозяйственная наука и практика имеют дело с материальными объектами, а материя взаимосвязана с энергией, то последняя вполне пригодна для этой роли.

2.1 Природные ресурсы урожайности

Бесспорно, что факторами, обеспечивающими увеличение производства полеводческой продукции являются: наличие сортов интенсивного типа; оптимизация питания растений за счет удобрений; защита растений от вредителей и болезней; минимизация отрицательного влияния сорного компонента в агроценозах; совершенствование агротехнологий как за счёт увеличения производительности сельскохозяйственных машин в силу важности своевременного выполнения всех технологических приёмов и операций (в экологическом отношении важна обработка именно физически спелой почвы), так и за счёт их качества. Однако, величина урожайности конкретных культур и продуктивности пашни в неорошаемом земледелии лимитируется природными факторами. Вместе с тем, природно-ресурсный потенциал для производства продукции растениеводства во всех земледельческих зонах представлен совокупностью естественных материальных ресурсов и условий формирования урожая (табл. 1). «Строительный материал» формирования урожайности одинаков для всех сельскохозяйственных растений при различном

отношении к условиям среды. Потребность в нём увеличивается с ростом генетического потенциала сортов и гибридов конкретных культур. Агроклиматические ресурсы являются «даровыми». Почва, как средство производства, имеет кадастровую стоимость, определяемую уровнем плодородия, который не должен снижаться (как минимум) со временем.

Таблица 1

Составляющие природно-ресурсного потенциала

Фактор	Функциональная роль	
	ресурсы	условия
Свет	-	+
Теплота	+	+
Вода	+	+
Углекислый газ	+	+
Температура воздуха и почвы	-	+
Почва:		
механический состав, агрофизические и агрохимические свойства	-	+
реакция почвенного раствора	-	+
органическое вещество почвы	+	+
макроэлементы	+	+
микроэлементы	-	+
Рельеф территории, его расчленённость	-	+
Организмы, способствующие сохранности урожая	-	+

Примечание – «+» – да, «-» – нет.

Теплота является одновременно условием и ресурсом, так как реакция фотосинтеза эндотермическая, а фотосинтетически активная радиация только условие для её осуществления («...световые условия на широте Шпицбергена достаточны, чтобы растения могли производить столько же растительной массы, что и в средней части СССР. Малая продуктивность северной растительности объясняется не недостатком света, а недостатком тепла») [9].

Потребление ресурсов в системном процессе формирования урожая осуществляется по вполне определенной последовательности. Первоочередными условиями получения всходов (так же возобновления вегетации озимых и многолетних культур) являются влажность и температура почвы (соответственно воздуха). Ими же определяется интенсивность деятельности почвенных микроорганизмов, от которой зависит эмиссия углекислого газа и переход в доступную для растений форму элементов минерального питания.

Не входящий в состав энергосодержащих соединений калий в живых растениях удерживается при освещении, а в отмерших связан с клетчаткой физико-химическими силами и подвержен выщелачиванию. Его физиологическое значение обширно: объединение воздушного и корневого питания за счет обеспечения оттока продуктов фотосинтеза из листьев в корни и участия в реакциях, связанных с адсорбционной деятельностью корней; регулирование степени открытости устьиц; роль переносчика электронов во многих энзиматических реакциях.

После первой фазы фотосинтеза (образования углеводов) протекание процессов энергообмена зависит от наличия фосфора. Аденозинтрифосфорная кислота по праву считается разменной энергетической валютой живых клеток и включенный в нее фосфор может большое, не поддающееся учету, количество раз участвовать в биохимических реакциях. Вместе с тем, содержащийся в более сложных соединениях (например жирах) фосфор практически исключается из дальнейшего участия в вещественно-энергетических преобразованиях.

Высокая потребность в азоте на протяжении всего онтогенеза обусловлена как включением его в состав энергопреобразующих структур (молекулы хлорофилла и других хромофоров, белки клеточных мембран и другие) так и локализацией в формирующихся тканях и органах.

Развитие зональных систем земледелия в адаптивно-ландшафтные не отменяет зональности в организационно-экономическом плане. [Хозяйства с нетипичными условиями (одинаковы только климатические) вынуждены приспособлять производство продукции к специализации зоны и расположению относительно рынков сбыта]. Поэтому зональное районирование необходимо также и для совершенствования аграрно-промышленного комплекса на территории Центрального Черноземья.

Почвенно-эрозионное районирование Центрального Черноземья выполнено В. Д. Соловиченко [10, 11]. На основе материалов почвенных обследований с учётом климатических условий и интенсивности проявления

эрозионных процессов выделено шесть почвенно-эрозионных районов и пять подрайонов. Поскольку при формировании структуры посевных площадей с соответствующей системой севооборотов первоочередное значение имеют эрозионная опасность и тепловлагообеспеченность, отмеченное районирование трансформировано нами применительно только к пахотным землям.

Перечень подзон и потенциальная продуктивность пахотных земель в их пределах представлены в таблице 2, их расположение показано на картосхеме (рис. 1).

Потенциал продуктивности рассчитан только по агроклиматическим показателям на том основании, что характеризующие почвенное плодородие показатели (за исключением механического состава) можно регулировать агротехническими и мелиоративными мероприятиями.

Таблица 2

**Природно-ресурсные подзоны Центрального Черноземья и
потенциальная продуктивность пахотных земель**

№№ подзоны	Расположение по областям	Потенциал продуктивности, ГДж/га в год
I	Курская область, северо-западная часть	249-252
II	Липецкая область	244-247
	Тамбовская область, большая часть	237-244
III	Тамбовская область, южная часть	228-236
	Воронежская область, северная часть	247-258
	Курская область, восточная часть	255-259
IV	Курская область, южная часть	259-261
	Белгородская область, северная часть	259-261
	Воронежская область, северо-западная часть	255-258
V	Белгородская область, центральная и юго-западная части	253-255
	Воронежская область, западная часть	253-258
VI	Воронежская область, юго-западная часть	227-229
	Белгородская область, юго-восточная часть	230-233
VII	Воронежская область, южная часть	209-212

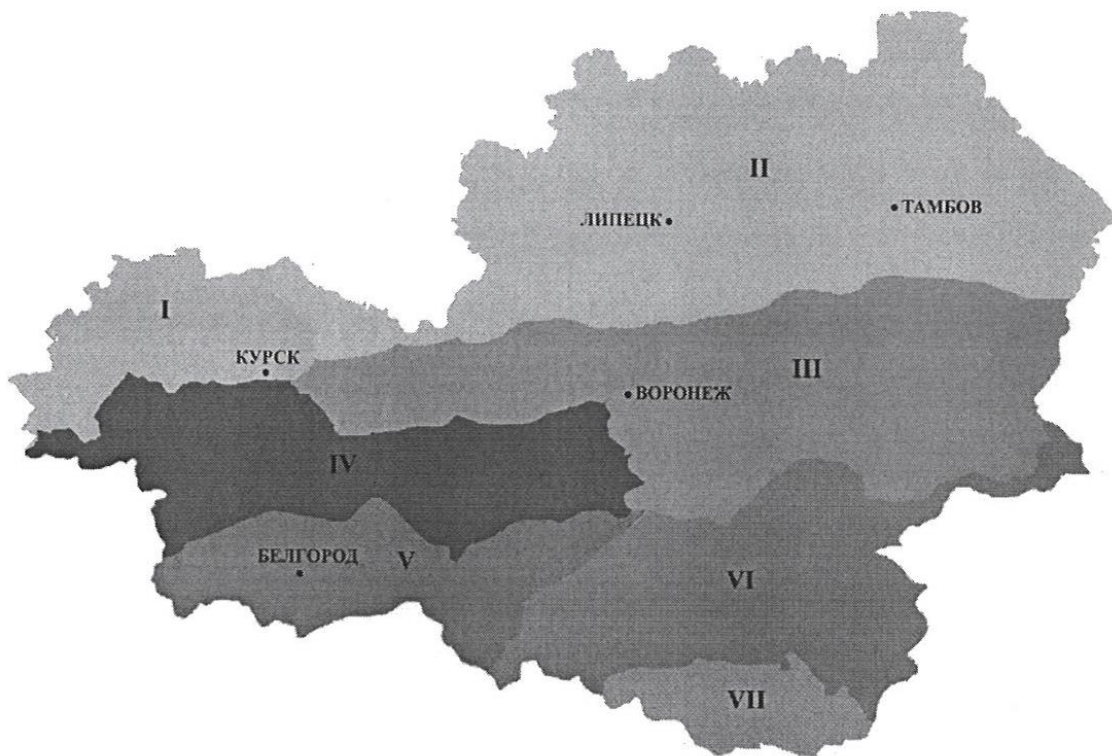


Рисунок 1. Природно-ресурсные подзоны Центрального Черноземья (на основе почвенно-эрозионного районирования по В. Д. Соловиченко и климатических условий)

Рельеф территории является нерегулируемым и устойчивым во времени условием, которое лучше в первой, второй и промежуточное в третьей природно-ресурсной подзоне. Использование благоприятных условий тепловлагообеспеченности в четвертой и пятой подзонах ограничивает высокая эрозионная опасность, которая в седьмой подзоне сочетается с наименьшим в регионе количеством осадков при наибольшем наличии тепла.

Следовательно, неодинаковое наличие и сочетание составляющих природно-ресурсный потенциал факторов обуславливает дифференцированный подход в формировании севооборотов и структуры посевных площадей на территории Центрального Черноземья.

Отыскать единое, неизменное и общее в изменяемом и частном составляет основную задачу познания.

Д. И. Менделеев

2.2 Закономерности в использовании посевами воды и формировании почвенных влагозапасов

Ведущую роль воды в формировании урожаев невозможно преувеличить. Она необходима и как условие жизни растений, и как материал для формирования фитомассы, и для осуществления всех физиологических процессов.

2.2.1 Накопление посевами энергии в связи с расходом воды

Успех в исследовании, а затем и в практическом использовании взаимоотношений с сложной динамичной системе «почва – посев – внутривосевная и припосевная слои атмосферы» решающим образом зависит от надежности исходной «точки опоры». Нахождение взаимосвязи (также взаимозависимости, если она имеется) между ресурсами урожайности возможно только при выражении их в одинаковых единицах измерения. Для этого в наибольшей степени в силу первого начала термодинамики пригодна единица измерения энергии и работы (Дж).

В результате анализа обширного экспериментального материала, полученного в различных земледельческих зонах, установлена следующая закономерность:

Накопление энергии в фитомассе (основная и побочная продукция, корни) посевов полевых культур, независимо от их требовательности к теплу и влаге как факторам (условиям) среды, подчиняется единой закономерности в использовании последних как ресурсов урожайности культур и продуктивности севооборотов». При расходе посевами 1 мм воды запасается 0,567 ГДж энергии [12].

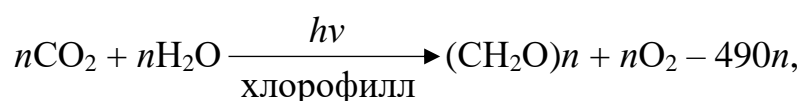
$$E = 0,567 P, \quad (1)$$

где E – накопленная энергия, ГДж

P – расход воды, мм

Универсальность указанной закономерности объяснима с позиций современной физики. Основанием для её поиска были два общеизвестных факта – участие воды в реакции фотосинтеза и сопряженность последнего с транспирацией.

Фотосинтез – наиболее важный для биосферы Земли окислительно-восстановительный фитобиологический процесс, который заключается в превращении неорганических веществ (воды и углекислого газа) в органические (углеводы) под влиянием солнечного света, поглощаемого хлорофиллом растений, и сопровождается выделением газообразного кислорода. Состоит он из весьма сложных реакций, однако суммарный его результат принято выражать следующей упрощенной схемой:



где n – целое число, соответствующее химическим формулам наиболее распространенных разновидностей углеводов, 490 – химическая энергия (ГДж), запасаемая в одном моле образующегося углевода (CH_2O). С позиции системного анализа эта схема незавершенная (неполная), так как остается без внимания выделяющаяся из листьев газообразная вода.

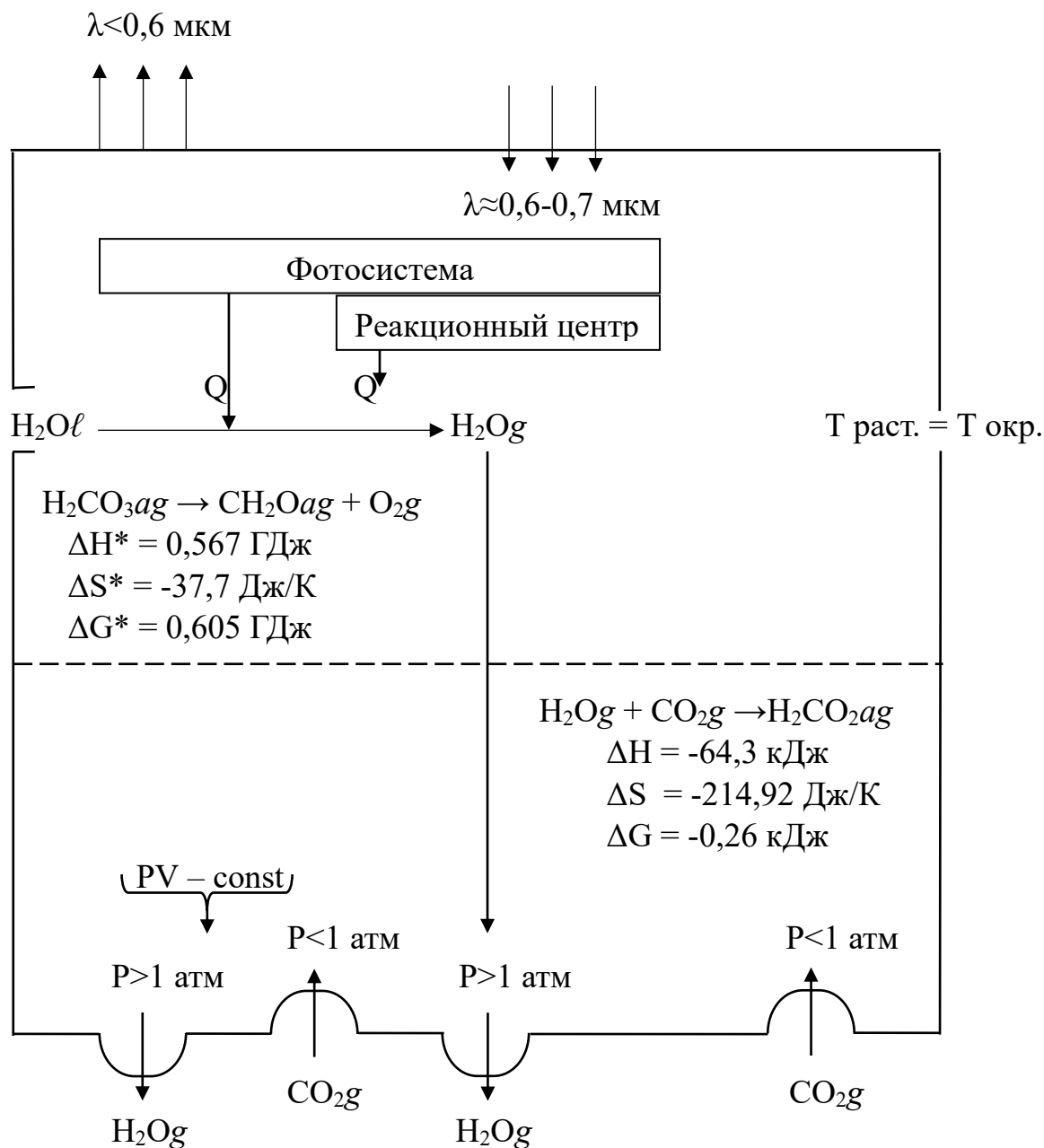
Растение является вполне определенной в пространстве открытой термодинамической системой, которая обменивается с окружающей средой веществом и энергией. Основное количество воды, поступающих в растение из почвы минеральных элементов и углерода из воздуха расходуется на нарастание надземной фитомассы при частичном поступлении в почву (корни, корневые выделения). Вода поступает в растение только из почвы, а углерод в составе углекислого газа только из воздуха. Фотосинтез сопряжен с транспирацией (удалением из растений через листья воды).

Транспирация, выделение в атмосферу кислорода и воздушное питание осуществляются через одни «двери» – устьица листьев, которые у высших цветковых растений (все полевые культуры в Центральном Черноземье) расположены с тыльной стороны листа. Благодаря такому расположению устьиц (навстречу эмиссии CO_2 из почвы) и увеличению площади листовой поверхности на протяжении вегетативной стадии развития растений исчезающе ничтожное (0,03 % на уровне мирового океана) количество углекислого газа в атмосфере увеличивается внутри посева на два-три порядка. Здесь уместно напомнить, что Ю. Либих, который вывел два кардинальных закона – «закон минимума» и «закон полного возврата», отвергая гумусовую⁴⁾ теорию питания утверждал, что растения имеют неисчерпаемый запас углерода в воздухе. К настоящему времени установлено, что на долю атмосферного углерода приходится не более 20 % от его содержания в урожае. Однако, перечисленное не дает ответа на вопрос «Как углекислый газ попадает внутрь листа, если встречный поток газообразной воды и кислорода в 934 раза больше?».

Объяснение этого на первый взгляд парадоксального факта основано на том, что тепловые явления подчиняются, во-первых, закону сохранения энергии и, во-вторых, закону не убывания энтропии. Величина энергии показывает, сколько работы может совершать система (с некоторыми ограничениями), а величина энтропии – куда будет направлена эта работа. Но ни энергия, ни энтропия по отдельности не дают исчерпывающего описания системы. С другой стороны, зная энергию и энтропию можно предсказать поведение системы, настолько точно, насколько это вообще возможно.

В нашем случае важна еще одна термодинамическая величина, которая в отличие от энергии и энтропии не зависит от количества вещества – это абсолютная температура. Тепловое равновесие между листьями и окружающим их воздухом достигается за счёт испарения газообразной и притока жидкой воды, а также отражения части (в основном зеленой) спектра солнечного излучения (рис. 2). В изотермическом процессе произведение давления на объем внутри листа как открытой системы остается постоянным, но значение

указанных характеристик во всех локальных точках этого органа растений непрерывно меняется. Визуально это не заметно в силу огромной скорости реакций и крайне малых размеров пространства, где они протекают.



P – давление, V – объем, Q – теплота, T – абсолютная температура, ℓ – жидкость, g – газ, ag – гидрат.

Изменения: ΔH – энтальпии, ΔS – энтропии, ΔG – свободной энергии.

*Из расчета на 1190 молей углевода, образовавшихся при расходе 1 мм воды.

Рисунок 2. Механизм сопряжения транспирации и поглощения CO_2 с фотосинтезом

Благодаря динамике в величинах давления и объема внутри листа создаются условия для усвоения углекислого газа. При удалении газообразной воды через одни устья из-за возросшего объёма в месте расположения других устьиц неизбежно временное уменьшение внутреннего давления в этой части листа, чем создается условие для захвата углекислого газа. Кроме того, свободная энергия образования угольной кислоты при соединении углекислого газа с газообразной водой (показано в правом нижнем углу рис. 2) отрицательна (в отличие от реакции в жидкой воде), то есть при определённых условиях может идти самопроизвольно.

Итоговым результатом реакции фотосинтеза является преобразование тепловой энергии (в этой форме бесплатно и в огромном количестве поставляет энергию Солнце) в химическую без каких-либо потерь. Но если любую систему с запасом химической энергии предоставить самой себе, то большая часть указанной энергии со временем перейдёт в тепловую. Реакция фотосинтеза эндотермическая, то есть идущая с поглощением тепла. При расходе посевами 1 мм (10000 кг) воды образуется 1190 молей углевода, запас энергии в которых равен точно 0,567 ГДж (показано в левом верхнем углу рис. 2).

При высоких температурах воздуха в сочетании с недостаточным притоком жидкой воды устья листьев закрываются, а молекулы хлорофилла изменяют своё направление относительно солнечного света, что позволяет растениям избегать определенное время отрицательных последствий от перегрева, но никакого накопления энергии при этом не происходит.

*Воде была дана волшебная власть –
стать соком жизни на земле.*

Леонардо да Винчи

2.2.2 Формирование запасов почвенной влаги

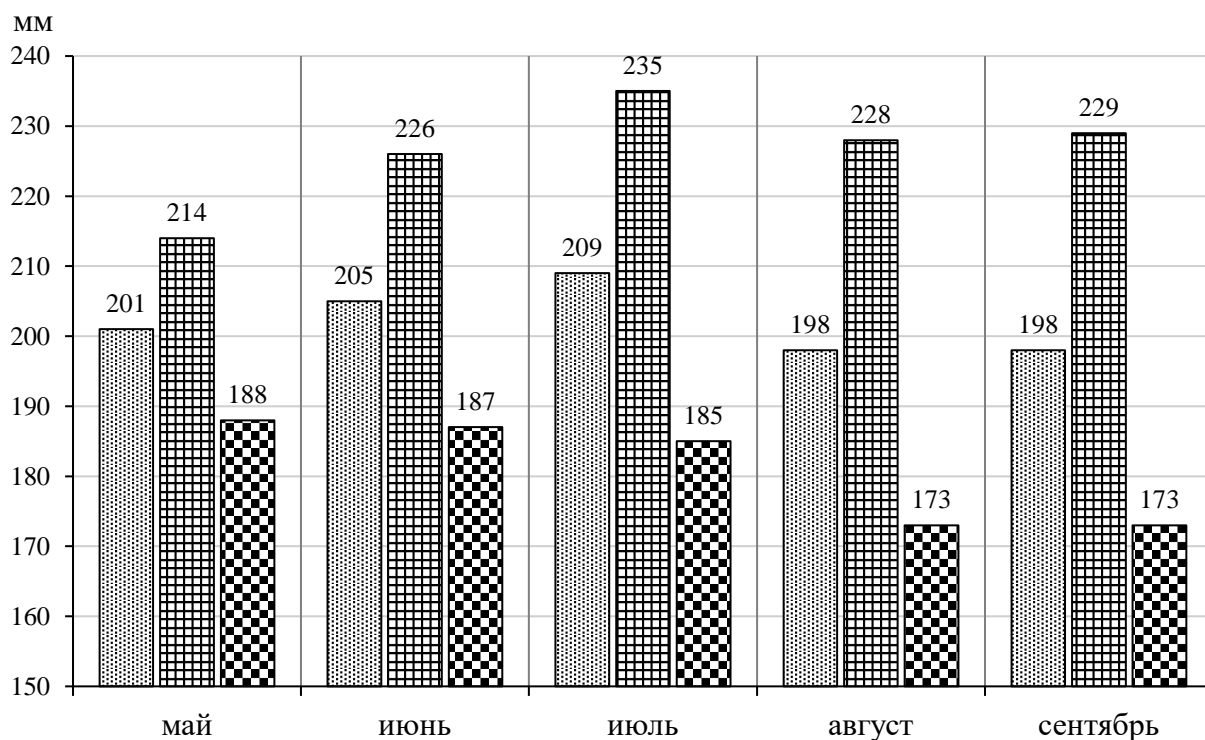
Главнейшими факторами возникновения, сохранения и развития жизни на Земле являются: большое количество воды на планете и высокая её

теплоёмкость, что уменьшает перепад температур в суточном и годовом циклах; свойство воды быть одновременно донором и акцептором электронов и протонов в окислительно-восстановительных реакциях; аномальное, сравнительно с другими веществами, свойство расширяться при замерзании, сопровождающееся некоторым уменьшением плотности и значительным увеличением твердости льда, приводит к дроблению минеральных пород. Влияние последнего на образование почв трудно переоценить.

Как указывает К. А. Тимирязев, высота урожая сельскохозяйственных культур находится в прямой зависимости от влагообеспеченности растений [13]. Это вполне закономерно, так как вода необходима и для протекания физиологических процессов, и для образования тканей растений. Вместе с тем, при определённых условиях она является причиной эрозии почв (ливни, весенний сток при интенсивном снеготаянии и т.п.). ослабление или усиление эрозии в немалой степени зависит от поглощения почвой воды, обусловленного особенностями баланса влаги при различных чередованиях культур. При этом повышение продуктивности пашни за счёт эффективного использования воды в рационально построенных севооборотах одновременно соответствует задаче защиты почв от эрозии.

В богарном (неорошаемом) земледелии источником почвенной влаги для растений являются атмосферные осадки. На территории Центрального Черноземья грунтовые воды залегают преимущественно на глубине не менее 6 м, а поэтому их капиллярная кайма не достигает зоны распространения корневых систем сельскохозяйственных культур. Между грунтовыми и почвенными водами расположен слой с низкой влажностью, близкой к влажности завядания (недоступной для растений). В результате основными формами продуктивной (доступной влаги) являются капиллярно-подвешенная и капиллярно-подпертая вода соответственно при непромывном типе и периодически промывном подтипе (по классификации Г. Н. Высоцкого) водных режимах.

В силу неравномерного выпадения осадков важнейшее значение для формирования урожаев имеют почвенные влагозапасы. Нередко в докладах на научно-практических конференциях и даже в научных публикациях проскальзывает бездоказательное утверждение о накоплении воды в почве во время парования, то есть при отсутствии культурных растений в теплый период года. Вместе с тем уже в последней четверти 20-го столетия научно-исследовательскими учреждениями Центрального Черноземья [14, 15], Северного Кавказа [16, 17], Южного отделения ВАСХНИЛ [18, 19] и Западной Сибири [20] установлено, что осадки теплого периода в паровом поле почвой практически не усваиваются. За период парования почвенные влагозапасы колеблются в зависимости от сочетания осадков с температурой воздуха, но ко времени посева озимых бывают практически такими же, как в начале лета (рис. 3).



Среднемесячная температура воздуха и осадки за месяц:

■ на уровне нормы, ▨ меньше на 1°C и больше 10% , ▩ больше 1°C и меньше 10%

Примечание – Отклонение от нормы температуры в $^\circ\text{C}$, осадков в $\%$.

Рисунок 3. Динамика запасов продуктивной влаги в полутораметровом слое чёрного пара в лесостепи Центрального Черноземья (обобщение)

Использование воды различается в конкретное время теплого периода года. Так, ранней весной, когда озимые только начинают отрастать, а яровые ещё не посеяны, влага расходуется на испарение с поверхности почвы, а при её избытке просачивается в нижние горизонты корнеобитаемого слоя почвы. В дальнейшем, когда образуется сомкнутый растительный покров, под защитой которого резко сокращается расход воды на испарение с поверхности почвы, влага расходуется в основном через транспирацию растениями. Степень транспирации неодинакова у разных культур. С начала весны она сильнее выражена у озимых и многолетних трав в связи с более быстрым нарастанием надземной массы. Культуры позднего весеннего высева больше расходуют воду во второй половине лета. Расход воды из корнеобитаемого слоя почвы зависит от влажности почвы, биологических особенностей культур (строения и глубина проникновения корневой системы, потенциальная продуктивность), погоды и применяемой агротехники. Учитывая характер использования воды полевыми культурами, необходимо подбирать их в состав севооборотов конкретного хозяйственного назначения для наиболее эффективного использования почвенных влагозапасов и осадков в период вегетации.

За 25 лет исследований (1992-2015 гг.) в нашем стационарном полевом опыте наименьше неиспользованной продуктивной воды содержалось после сахарной свеклы, наиболее – после гороха (рис. 4). Эти различия были обусловлены неодинаковыми влагозапасами средней и нижней трети исследуемой толщины почвы и более резко проявились в засушливые годы.

Количество неиспользованной культурами воды в почве равно разности между весенними продуктивными влагозапасами (Вв) и расходом за период вегетации.

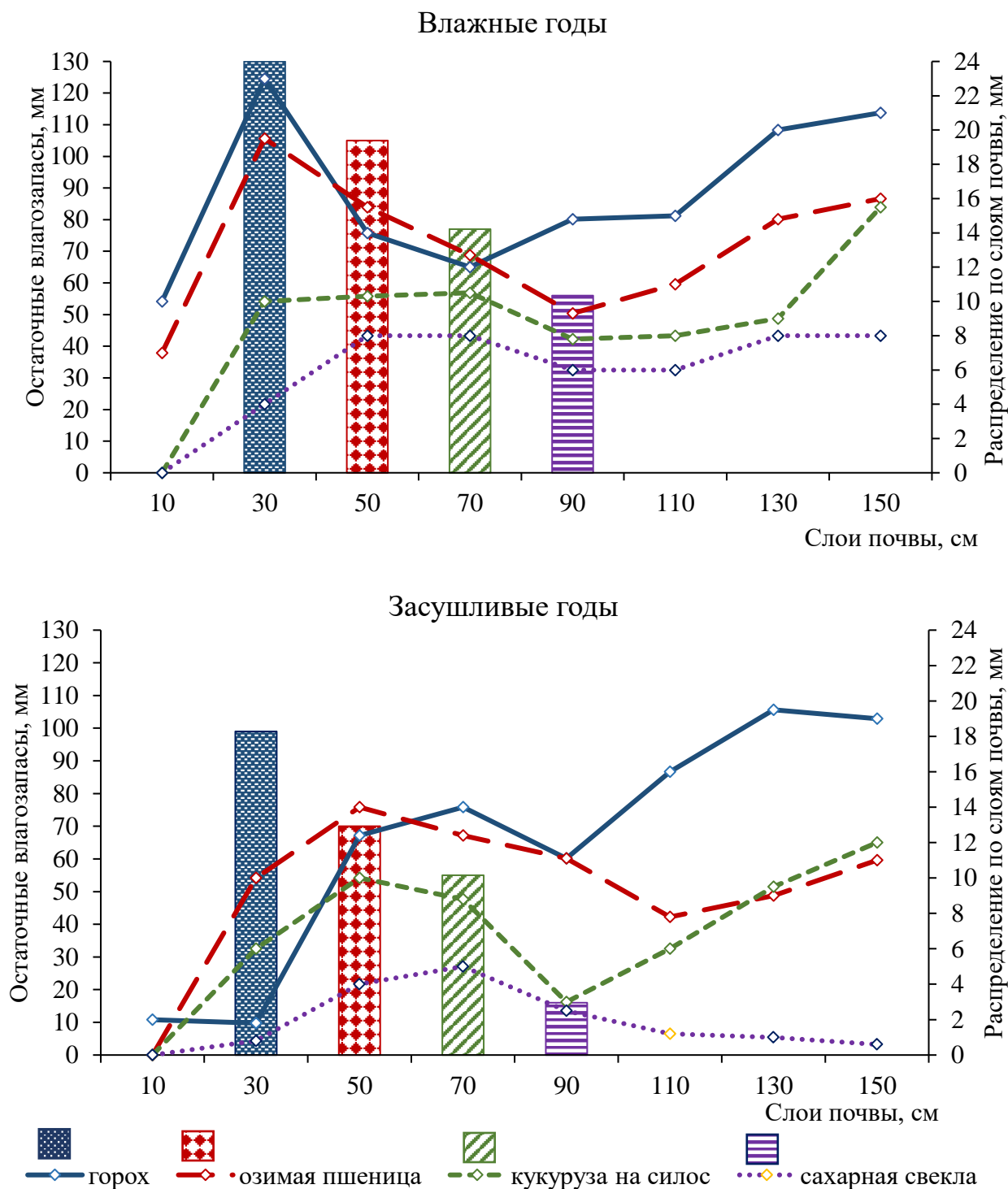


Рисунок 4. Запасы и распределение продуктивной влаги в слое почвы 0-150 см при уборке культур

Расход воды посевами (P) рассчитывается [12] умножением влагообеспеченности (M), которая равна сумме $Вв$ в слое почвы 0-150...200 см с осадками за период вегетации ($Осл$) на безразмерный показатель K_p , который отражает генетический потенциал продуктивности сортов и гибридов

конкретных культур, являясь мерой потребления воды.

$$K_p = 10^{-13} \text{Дж}^{-1} \cdot \text{К}^{-4} \cdot 4,9 \text{Н} [T^4 + 7 (T^4 - T_1^4)], \quad (2)$$

где $10^{-13} \text{Дж}^{-1} \cdot \text{К}^{-4}$ – коэффициент пропорциональности;

4,9 – произведение модуля постоянной Стефана-Больцмана (5,67) на 10000 м^2 (1 га) и количество секунд в сутках;

Н – продолжительность вегетации (в сутках), равная времени набора суммы активных (эффективных для кукурузы) температур для однолетних культур, фактическая для многолетних трав и сахарной свеклы.

Т – среднесуточная температура за период вегетации, °К;

T_1 – биологический минимум температур для конкретных культур.

Способность почвы пропускать воду находится в тесной взаимосвязи с её физическим состоянием. Важное значение имеет сложение почвы, обусловленное и особенностями строения корневой системы возделываемых культур, и системой обработки почвы, и наличием дрен-ходов, образующихся после отмирания крупных корней. Чем поры крупнее, тем слабее проявляется действие капиллярных сил и тем быстрее вода проникает в почву. В свою очередь, общий объём, а также соотношение капиллярных и некапиллярных пор зависит от структуры почвы и её водопрочности. Однако, при всех перечисленных условиях водопроницаемость сухой почвы лучше, чем влажной.

В регионах, где на протяжении всего года капиллярная кайма не достигает корнеобитаемого слоя, влага в почве пополняется в основном за счет осадков позднеосеннего, зимнего и ранневесеннего периодов. Влагозапасы в корнеобитаемом слое к началу полевых работ формируются за счет остаточной (не использованной предшественником) влаги и приростов к весне. Графическое сравнение приростов продуктивной влаги в почве от конца осени к весне и осадков холодного периода (рис. 5) показало, что они (приросты) уменьшаются по мере возрастания увлажнения почвы при любом количестве осадков. При этом линии, проведенные через разброс точек, почти параллельны.

Для линии, соответствующей 186 мм осадков, оказалось возможным

рассчитать приросты влаги как разницу между осадками и произведением начальных влагозапасов на 0,59. Результаты расчетов при количестве осадков большем и меньшем 186 мм оказывались соответственно завышенными и заниженными по сравнению с определенными экспериментально приростами продуктивной влаги. Избавиться от указанных отклонений удалось при помощи поправки, которая равна разнице между 186 и фактическим количеством осадков, умноженной на 0,28. После соответствующих преобразований формула для расчета весенних влагозапасов (Вв) приняла следующий вид:

$$Вв, мм = 0,5Вк, мм + 0,8 Ос_3 мм \quad (3)$$

где Вк – остаточные (не использованные) запасы влаги;

Ос₃ – осадки холодного периода (среднесуточная температура меньше 5 °С).

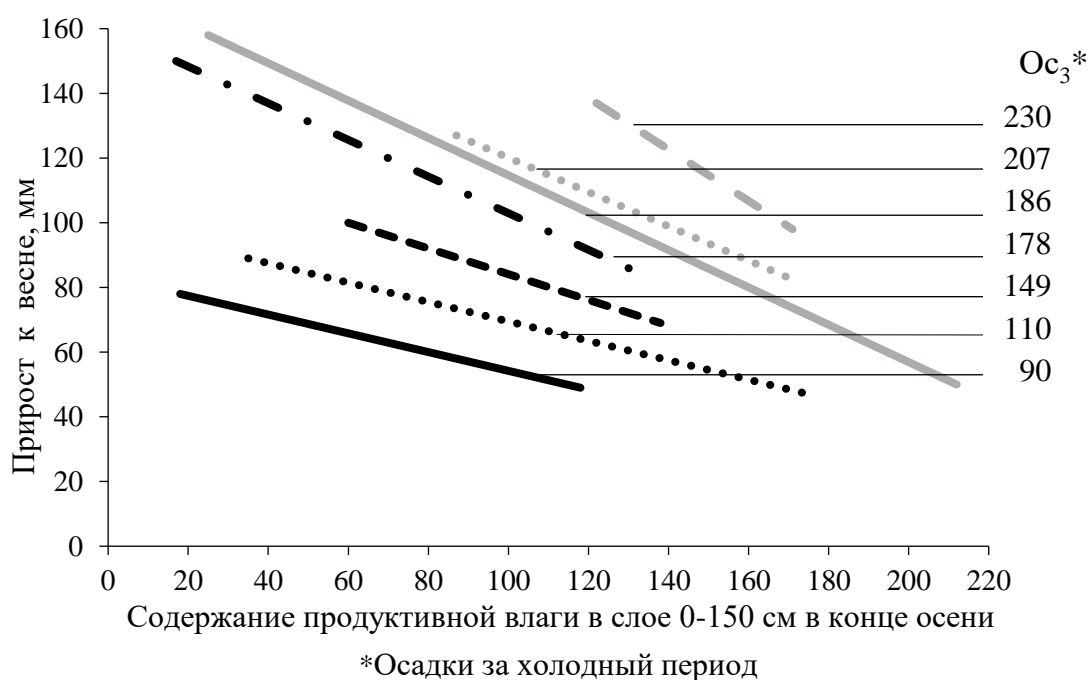


Рисунок 5. Приросты продуктивной влаги к весне в зависимости от увлажнения почвы и осадков за период влагонакопления (по обобщенным данным)

Величины Вк и Вв характеризуют содержание продуктивной влаги (не связаны с физическими свойствами почвы) и поэтому пригодны для расчетов динамики баланса влаги в севооборотах, что будет показано позже.

2.3 Закономерности для воспроизводства плодородия почв

В документе «Мировая почвенная политика», составленного в 1981 г. группой учёных-почвоведов под патронажем ФАО, ЮНЕСКО, ЮНЕП записано: «Признавая тот факт, что почва есть конечный ресурс и что с ним связана постоянно возрастающая неюоходимость в обеспечении пищей, одеждой, жильём и энергией населения Земли и поддержания мирового экологического баланса, правительства наций Мира согласны использовать свои почвы на основе здравых принципов управления ресурсами, чтобы увеличить продуктивность почвы, предотвратить эрозию и деградацию почвы и уменьшить потери плодородных земель на не сельскохозяйственные нужды» [Цит. по 23].

В земледелии объективно действует закон незаменимости и равнозначности факторов жизни растений и закон совокупного действия факторов в соответствии, с которыми для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур необходимо одновременное наличие или приток всех факторов жизни растений в оптимальном соотношении. Отсюда следует, что накопление энергии посевами не исчерпывается транспирацией.

Анализ многочисленных экспериментальных данных, полученных в первую очередь в стационарах Географической сети опытов с удобрениями, показал, что накопленная в товарной и нетоварной частях продукции энергия независимо от требовательности растений к плодородию почвы одинаковым образом связана с выносом основных элементов минерального питания и описывается формулой:

$$E, \text{ ГДж} = \beta (\text{K}_2\text{O}, \text{ кг} + 0,5 \text{ P}_2\text{O}_5, \text{ кг} + 0,5 \text{ N}, \text{ кг}), \quad (4)$$

где β = содержанию сухого вещества при уборке в долях единицы + 0,14.

Коэффициент « β » включен с целью учесть тот факт, что при высокой влажности растений, особенно молодых, не все питательные вещества входят в состав энергосодержащих соединений как в силу обменных процессов в

растении, так и при интенсивном поступлении в надземные органы с восходящим током воды.

В большинстве случаев «β» для зерновых колосовых культур равно единице, но может быть и меньшим во влажных условиях при отдельной уборке. Для кукурузы на зерно оно также соответствует единице в условиях благоприятных для полного вызревания зерна этой культуры и несколько меньше в условиях с недостаточной продолжительностью теплого периода или для позднеспелых и ремонтантных гибридов.

Совпадение расчетных значений относительно фактических здесь бывает менее точным, чем при накоплении энергии в связи с расходом воды. На интервал отклонений до 25 % приходится меньше 80 % результатов расчёта, а отклонение до 10 % бывает в 50 случаях из 100. На чернозёмах, темно-серых лесных и каштановых почвах применение формулы 4 оправдывается в большей степени, чем на дерновоподзолистых почвах. Вместе с тем, хорошее совпадение обнаружено на светло-серой лесной среднесуглинистой почве [22], где несмотря на разницу в величине урожайности и видах азотных удобрений различия между расчётной и фактической энергией оказались в пределах 2,8...7,1 % (табл. 3).

Таблица 3

Сопоставление расчётной по выносу минеральных элементов и фактической энергии в зерне озимой пшеницы

Вариант удобрения	Урожайность, ц/га	Вынос, кг/га			Энергия, ГДж		$\frac{p - \phi}{p}$, %
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	p*	φ*	
Контроль	23,4	47,3	22,0	11,2	45,8	44,5	2,8
N м	34,8	76,6	31,7	15,7	69,8	66,1	5,3
N м + БП**	38,0	85,1	35,0	17,5	74,4	72,2	6,7
N аа	34,6	74,4	34,6	15,2	69,7	65,7	5,7
N аа + БП	35,9	79,0	35,2	16,5	73,4	68,2	7,1

* – p и φ – расчётное и фактическое значения,

** – биопрепарат,

*** – N м и N аа соответственно мочевины и биомодифицированная аммиачная селитра.

Характеризующая питательную ценность продукции обменная энергия (ОЕ – энергетический эквивалент сбора кормовых единиц) рассчитывается по формуле:

$$\text{ОЕ, ГДж} = \beta (0,5 \text{ N, кг} + 0,5 \text{ P}_2\text{O}_5, \text{ кг}), \quad (5)$$

Возможность увязать через энергию расход воды с выносом минеральных элементов позволяет рассчитывать и прогнозировать баланс последних в зависимости от схемы севооборота и доз удобрений в нем. Правда, на почвах с низким естественным плодородием (дерново-подзолистые, светло-серые лесные, светло-каштановые) расчет энергии по расходу воды в неудобренных вариантах обычно бывает завышенным. Подсчитано и апробировано, что расход 1 мм воды должен быть обеспечен выносом $\geq 0,295$ кг N, $\approx 0,126$ кг P_2O_5 и $\approx 0,3$ кг K_2O .

Поскольку содержание ОЕ в конкретном виде продукции у конкретных культур практически стабильное (варьирует в определённых пределах в зависимости от сорта, погоды и агротехники), то деление на неё полусуммы выноса азота и пентаоксида фосфора (в кг) даёт величину урожайности в ц/га. Пример сопоставления рассчитанной (в 1 ц зерна озимой пшеницы $\approx 1,3$ ГДж ОЕ) и фактической урожайности показан на обобщенном материале института почвоведения и фотосинтеза АН СССР [23]. Для 65 % сопоставлений отклонения расчётных и фактических величин не превысили 10 % (табл. 4).

Качество отчуждаемой с урожаем товарной и возвращаемой в почву побочной продукции крайне важно в плане достижения уравновешенного баланса гумуса, который является «стражем плодородия» [24], а его содержание важнейшим оценочным показателем здоровья почв.

Таблица 4

Взаимосвязь урожайности озимой пшеницы с выносом азота и фосфора в различных условиях её влагообеспеченности на типичных черноземах*

ОЕ, ГДж/га	Число сопостав- лений	Содержание N-NO ₃ +NH ₄ (обм.) в слое 0–40 см, кг/га	Вынос элементов питания урожаем, кг/га		Урожай зерна, ц/га		$\frac{p-\phi}{p}$, %
			N	P ₂ O ₅	ϕ^{**}	p^{**}	
Достаточное увлажнение							
47,1	38	97	61	33	40,9	36,2	-13,0
50,4	20	114	69	32	40,5	38,8	-4,4
53,9	18	132	75	33	41,7	41,5	-0,0
57,5	11	150	83	32	43,6	44,2	1,4
70,5	7	185	107	34	52,6	54,2	3,0
77,0	6	202	118	36	55,5	59,2	6,3
Умеренное увлажнение							
30,0	9	66	38	22	22,5	23,1	2,6
34,4	38	79	45	24	26,2	26,5	1,1
41,5	28	110	59	24	31,0	31,9	2,8
44,5	14	127	64	25	32,8	34,2	4,1
49,0	11	154	73	25	34,4	37,7	8,8
54,5	19	176	83	26	35,6	41,9	15,0
60,5	26	198	94	27	38,2	46,5	17,8
68,0	4	228	108	28	40,3	52,3	22,9

* Расчет ОЕ и ожидаемой урожайности выполнен нами;

** ϕ – фактическая, p – расчетная.

Наиболее обобщающим показателем качества продукции полевых культур (наряду с содержанием переваримого протеина у кормовых и белка у зерновых культур продовольственного назначения) является содержание кормовых единиц. В энергетическом выражении 100 (1 ц) кормовых единиц равно 1,165 ГДж обменной энергии (ОЕ), содержание которой у основных полевых культур показано в таблице 5.

Качество энергии растений любого хозяйственного назначения определяется ботанической принадлежностью. Наибольшая доля эквивалентной сбору кормовых единиц обменной энергии у корнеплодов и ботвы сахарной свеклы, высока она у кормовых и сидеральных культур; в

основной продукции зерновых, зернобобовых и масличных культур обменной энергии в 5-6 раз больше, чем в побочной.

Таблица 5

Содержание обменной энергии в урожае основных культур полевых севооборотов, ГДж/ц

Культура	Продукция	
	основная	побочная
Озимая пшеница	1,17 – 1,34	0,27 – 0,33
Ячмень	1,22 – 1,40	0,31 – 0,36
Озимая рожь	1,18 – 1,30	0,23 – 0,31
Кукуруза на зерно	1,23 – 1,40	0,35 – 0,42
Яровая пшеница	1,17 – 1,35	0,21 – 0,31
Овес	1,08 – 1,17	0,29 – 0,35
Просо	1,06 – 1,16	0,33 – 0,42
Гречиха	1,11 – 1,16	0,19 – 0,29
Горох	1,26 – 1,42	0,35 – 0,51
Вика	1,22 – 1,40	0,34 – 0,49
Соя	1,50 – 1,63	0,34 – 0,50
Кормовые бобовые	1,30 – 1,41	0,32 – 0,36
Подсолнечник	1,31 – 1,48	0,34 – 0,43
Рапс	1,32 – 1,47	0,30 – 0,40
Сахарная свекла,	сухое вещество	1,52 – 1,65
	сырое вещество	0,31 – 0,36
Кукуруза на силос	0,28 – 0,32	–
Кукуруза на зеленый корм	0,16 – 0,21	–
Кормовая свекла	0,26 – 0,29	0,16 – 0,19
Многолетние травы,	сено	0,52 – 0,61
	зеленая масса	0,17 – 0,21
Однолетние травы,	сено	0,46 – 0,55
	зеленая масса	0,14 – 0,18

Примечание – При стандартной влажности семян зерновых, зернобобовых, крупяных и масличных культур.

По мере роста урожайности (независимо от благоприятных условий тепловлагообеспеченности или от оптимизации минерального питания) отчуждение азота с товарной частью урожая увеличивается в значительно большей степени сравнительно с фосфором и калием. В нашем стационарном опыте в варианте наименьшего уровня удобренности (6 т навоза на 1 га

севооборота) баланс всех элементов минерального питания был отрицательным, при удвоении нормы навоза в сочетании с минеральными удобрениями он стал положительным по фосфору и калию (табл. 6).

Таблица 6

Баланс* элементов минерального питания и гумуса в зависимости от уровня
удобренности в севооборотах стационарного опыта ВНИИЗиЗПЭ.
Среднее за 1992-2015 гг., кг/га

Внесено на 1 га севооборота							
6 т навоза				12 т навоза + N ₃₇ P ₃₇ K ₃₇			
K ₂ O	P ₂ O ₅	N	гумус	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	гумус
чёрный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на силос – ячмень							
-31	-10	-58	-1629	32	36	-47	-1411
сидеральный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на силос – ячмень							
-34	-10	-50	-927	31	36	-29	-486
занятый пар – озимая пшеница – сахарная свекла – горох – ячмень							
-21	-11	-45	-1518	53	38	-34	-118

* Побочная продукция использовалась на удобрение.

Однако, дефицит азота и отрицательный баланс гумуса сохранились, так как около двух третей обменной энергии формируется за счет азота (рис. 6).

Отчуждение накопленной энергии с товарной частью урожая сопряжено с расходом почвенного плодородия, что обуславливает снижение продуктивности пашни пропорционально степени несоблюдения закона возврата [25]. Поэтому необходимо комплементарное решение задачи формирования продуктивности севооборотов с обеспечением способности почвы «поставлять» необходимый для этого «строительный» материал (воду, углекислый газ, азот и зольные элементы), в потреблении которого посевами имеются достаточно точные количественные закономерности. Из них в плане воспроизводства плодородия важны следующие: обменная энергия (в ГДж) вещества растений равно полусумме (в кг) азота и пентаоксида фосфора; энергосодержание 1 т гумуса (в ГДж) равно половине заключенного в нем азота (в кг).

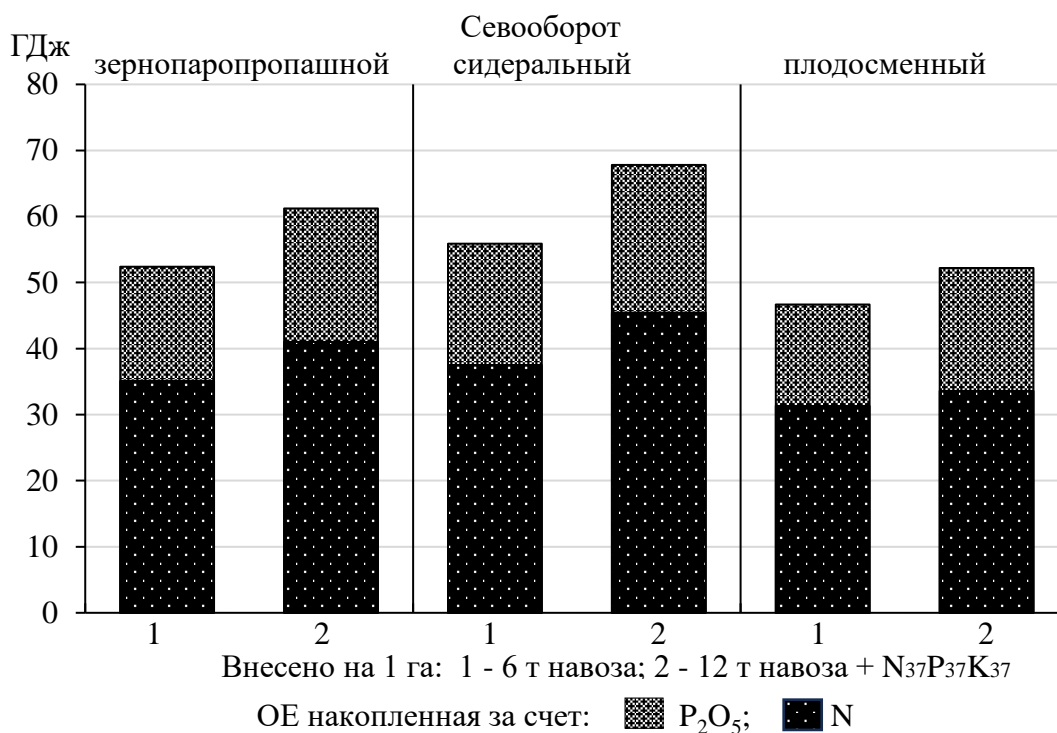


Рисунок 6. Содержание ОЕ в основной продукции севооборотов стационарного опыта, накопленной за счёт N и P₂O₅. Среднее за 1992-2015 гг.

Из содержания таблицы 7 видно, что внесение в почву азота удобрений способствует одновременно росту продуктивности и сокращению расхода гумуса (даже некоторому его увеличению). Аналогично изменяется сумма продуктивности пашни с балансом гумуса в энергетическом выражении. Однако, последняя в удобренных вариантах всегда бывает в разы меньше фактической и расчетной продуктивности, то есть на лицо наблюдается экологический ущерб из-за истощения почвы.

Прогнозная продуктивность определялась путем умножения суммы виртуальной ОЕ от азота удобрений с энергосодержанием убыли гумуса на 1,34, так как примерно треть её приходится на фосфор. Недостаток такого расчета, следующий: остается без внимания связанное с содержанием доступных элементов минерального питания фоновое плодородие, влияющее на включение поступающего азота в урожай или гумус, так как при достаточной (с позиций потребности конкретных растений) тепловлагообеспеченности фактическая продуктивность превышает расчетную в силу интенсивного

потребления посевами продуктов (конечных и промежуточных) минерализации гумуса.

Таблица 7

Сопоставление продуктивности севооборотов с балансом гумуса и внесением азота с удобрениями

Внесено N с NPK и навозом, кг/га	Баланс гумуса, ГДж/га	Продуктивность, ГДж ОЕ/га		$\frac{p-\phi}{p}$, %	Сумма энергии фактической продуктивности и расхода гумуса, ГДж/га
		фактическая (ϕ)	расчетная (p)		
Адыгейский НИИСХ					
озимая пшеница – кукуруза на силос – подсолнечник – озимая пшеница [26, 27]					
64,0	-28,9	79,9	81,3	17,2	41,5
135,0	+11,5	102,0	90,5	-12,7	117,3
Белгородский НИИСХ [28]					
горох – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – кукуруза на силос					
0,0	-33,1	44,9	44,40	-2,0	0,9
40,0	-23,5	54,5	58,1	3,6	23,2
88,0	-17,1	70,8	81,7	13,3	48,1
160,0	+6,7	86,1	98,3	12,4	95,0
ВНИИиЗПЭ					
черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на силос – ячмень					
30,0	-29,4	52,4	59,2	11,5	13,3
97,0	-23,3	71,2	90,6	21,4	40,1
Воронежский ГАУ [29]					
черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень					
75,0	-16,6	61,6	72,4	14,9	39,5
87,0	-2,1	62,7	61,1	-2,6	59,9
Львовская ОСС [30]					
занятый пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень+клевер – клевер – озимая пшеница – сахарная свекла – горох – озимая рожь – кукуруза на силос					
0,0	-29,9	48,9	40,1	-21,9	13,5
40,0	-17,8	60,2	50,4	-19,4	36,6
80,0	-9,2	69,9	65,9	-6,1	57,7
Самарский НИИСХ [31, 32]					
черный пар – озимая рожь – яровая пшеница – ячмень – кукуруза на силос – яровая пшеница – ячмень					
0,0	-23,1	32,0	31,0	3,2	1,3
86,0	+5,0	43,5	52,6	17,3	50,2

Несовпадение между прогнозными и фактическими величинами объясняется тем, что при расчетах не учтен углерод, который наравне с азотом является важным структурообразующим элементом гумуса. Прогнозный баланс углерода осложнен рядом факторов, но его расходная статья складывается из отчуждения с товарной частью урожая [33, 34] и бесполезной потери с

незанятой растительностью поверхности. Первое в зернопаропропашном севообороте (наибольший расход гумуса) нашего опыта связано с большой долей пропашных культур, второе с наличием черного пара.

Попытка рассчитывать баланс гумуса через баланс углерода приведена в таблице 8. Для этого средняя по севооборотам разница между отчуждаемым с урожаем и поступающим в почву (с побочной продукцией, навозом и сидератом) углеродом делилась на 600 кг/т (усредненное содержание углерода в тонне гумуса). Рассчитанные значения не совпали с экспериментальными, но различия в связи с вариантами опыта сохранились. Неточности связаны со сложностью учета всех статей в балансе углерода.

Таблица 8

Расчет баланса гумуса через баланс углерода. Среднее за 1992-2015 гг.

Схема севооборота	Баланс углерода, кг/га		Схема севооборота	Баланс углерода, кг/га		Схема севооборота	Баланс углерода, кг/га	
	У ₁	У ₄		У ₁	У ₄		У ₁	У ₄
Черный пар	-	-	Сидеральный пар	1137	1196	Занятый пар	-1300	-1363
Озимая пшеница	405	545	Озимая пшеница	433	521	Озимая пшеница	382	433
Сахарная свекла	-1658	-1947	Сахарная свекла	-1732	-2003	Сахарная свекла	-1591	-1774
Кукуруза на силос	-2654	-3007	Кукуруза на силос	-2663	-2967	Горох	232	243
Ячмень	386	470	Ячмень	410	466	Ячмень	443	550
Поступило с навозом, кг/га	600	1200	Поступило с навозом, кг/га	600	1200	Поступило с навозом, кг/га	600	1200
Среднее	-584	-548	Среднее	-36	-317	Среднее	-247	-142
Баланс гумуса, т/га	-0,97	-0,91	Баланс гумуса, т/га	-0,61	-0,53	Баланс гумуса, т/га	-0,41	-0,24

Примечание – У₁ и У₄ – соответственно 6 т навоза и 12 т навоза + N₃₇P₃₇K₃₇ на 1 га севооборота.

Неодинаковая возможность для прогнозирования балансов азота и углерода предопределена особенностью их круговорота в агроценозе (рис. 7).

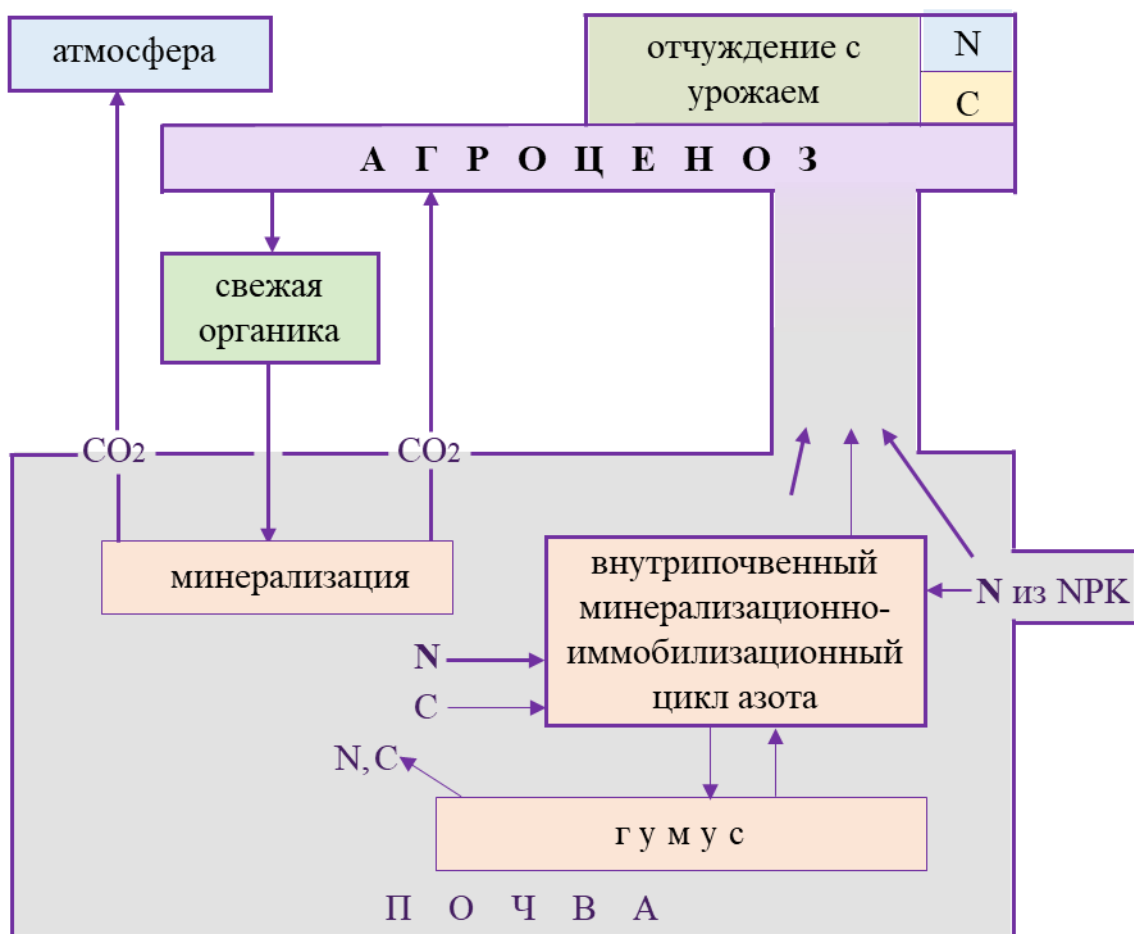


Рисунок 7. Общая схема перемещения азота и углерода в агроценозе

Поступающий в почву в составе органических удобрений (навоз, сидераты) и нетоварной части урожая углерод после минерализации частично используется на создание биомассы не долгоживущих микроорганизмов и может частично включаться (вместе с органическим азотом) во внутрипочвенные процессы, однако преобладающая его часть в составе углекислого газа выделяется из почвы, бесполезно теряясь в атмосфере или же обеспечивает воздушное питание посевов.

Азотный режим почвы полностью контролируется почвенными микроорганизмами, потоки азота через клетки которых в 2-3 раза превосходят его потребление полевыми культурами [35]. Азот минеральных удобрений ускоряет минерализацию органического вещества, чем способствует накоплению подвижного азота в почве [35, 36]. Вместе с тем при лучшей обеспеченности углеродом микроорганизмы больше поглощают аммония и

аминокислот и в почве накапливается больше иммобилизованного азота [36-38]. Перечисленное обуславливает невысокие (сравнительно с углеродом) бесполезные потери азота, в основном связанные с процессами нитрификации и денитрификации.

Соизмеримый с отчуждением обменной энергии возврат азота важен в плане связывания углерода посевами и удержания его в составе гумуса. Потребность в азоте на протяжении онтогенеза растений обусловлена как включением его в состав энергосберегающих структур, так и локализацией в тканях и органах. Развитие листовой поверхности при улучшении азотного питания способствует не только увеличению сопряженного с транспирацией фотосинтеза, но и позволяет более полно использовать выделяющейся из почвы углекислый газ в силу расположения устьиц с тыльной стороны листа. Роль такого экрана в севооборотах, насыщенных культурами с коротким периодом вегетации, выполняют промежуточные посевы, использование которых на зелёное удобрение не только предотвращает потерю ресурсов, но и способствует воспроизводству плодородия почв.

2.3.1 Взаимосвязь в использовании воды и азота

Продуктивность в энергетическом и натуральном выражении зависит от влагообеспеченности (весенние запасы продуктивной влаги + осадки за период вегетации) и способности культур ее использовать. Эта способность характеризуется специальным коэффициентом K_p , зависящим от продолжительности периода вегетации, в течении которого набирается необходимая для созревания культур сумма температур.

Произведением влагообеспеченности на K_p определяется суммарный (из почвы + осадки) расход воды посевами P (в мм), умножение которого на 0,567 дает величину энергетической продуктивности (ГДж/га). Для пересчета в натуральное выражение урожайности (в ц/га) полученный результат

умножается на коэффициент урожайности K_y ($K_y = K_0 + \alpha \ln N$ кг), отражающий концентрацию накопленной энергии в товарной части урожая (табл. 9).

Таблица 9

Нормативная база для прогноза урожайности лесостепной и степной зонах
Европейской территории России

Культура	K_p	K_{y0}	α
Черный пар	0,48 – 0,57	–	–
Травы в занятом пару сено зеленая масса	0,55– 0,59	0,40– 0,50	< 0,01
		1,67– 1,70	0,1
Зернобобовые	0,63– 0,66	0,17– 0,21	0,011
Яровые зерновые	0,66– 0,69	0,22– 0,25	0,011...0,012
Озимые зерновые	0,71– 0,73	0,22– 0,26	0,012...0,013
Кукуруза на силос	0,72– 0,74	1,78– 1,90	0,11...0,12
Кукуруза на зерно	0,80– 0,83	0,26– 0,29	0,012...0,014
Подсолнечник	0,85– 0,88	0,17– 0,19	0,01
Сахарная свекла	0,89– 0,94	1,43– 1,47	0,11...0,13
Многолетние травы сено зеленая масса	0,87 – 0,92	0,44 – 0,53	м.д. *
		1,60 – 1,75	

* Мало данных.

Современные сорта и гибриды положительно откликаются на увеличение в составе удобрений нормы азота (табл. 10). При натуральном выражении урожайности в ц/га прибавка к пересчетному коэффициенту « K_{y0} » в неудобренном варианте равна произведению натурального логарифма дозы азота (в кг) на характерные для культур поправки α (0,012...0,013 для озимых зерновых, 0,011...0,012 для яровых колосовых, 0,012...0,014 для кукурузы на зерно). Однако, прогнозные расчеты оправдываются только при достаточной влагообеспеченности, так как обильное азотное питание способствует развитию листовой поверхности и, соответственно, увеличению транспирации, в том числе за счет расхода почвенных влагозапасов, которые убывают ко времени максимального водопотребления (рис. 8) Так, почвенные влагозапасы ко времени колошения озимой пшеницы при внесении N_{60} и N_{100} бывают соответственно на 27 % и почти наполовину меньшими сравнительно с неудобренным вариантом, что предопределяет значительное снижение урожайности при отсутствии осадков в последующий период.

Таблица 10

Сравнение расчетной и фактической урожайности зерновых культур в зависимости от норм азота в удобрениях

Доза удобрений	Коэффициенты пересчета от энергии к натуральному выражению урожайности	Урожайность, ц/га		$\frac{P - \Phi}{P}, \%$
		Расчетная (P)	Фактическая (Ф)	
О з и м я я п ш е н и ц а				
Белгородский НИИСХ* [39]				
0,0	0,26	–	34,9	–
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,31	42,0	43,1	-2,6
N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,33	43,0	45,8	-6,5
ВНИИЗиЗПЭ				
0,0	0,26	–	39,1	–
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,30	49,6	45,7	7,9
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0,32	52,5	56,2	-7,0
Самарский НИИСХ [40]				
0,0	0,26	–	27,4	–
N ₃₈ P ₂₆ K ₁₂	0,29	28,9	31,9	-10,4
N ₆₃ P ₂₁	0,30	29,4	32,1	-9,2
Я р о в а я п ш е н и ц а				
Курский НИИАПП [41]				
0,0	0,25	–	26,9	–
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,29	32,4	33,0	-1,9
Ульяновский НИИСХ* [42]				
N ₂₆ P ₆ K ₀	0,25	40,2	37,8	6,0
N ₆₄ P ₁₈ K ₃₅	0,29	41,8	43,3	-3,6
N ₁₀₅ P ₃₀ K ₇₀	0,31	42,5	44,5	-4,7
К у к у р у з а н а з е р н о				
Адыгейский НИИСХ [27]				
0,0	0,27	–	46,1	–
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,31	53,2	53,3	-0,2
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,32	55,0	57,2	-4,0
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,33	58,7	55,8	4,9
Воронежский филиал ВНИИ кукурузы [43]				
0,0	0,27	–	34,2	–
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,31	45,0	47,1	-4,7
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,33	51,4	50,7	1,4

* Среднее по способам основной обработки почвы.

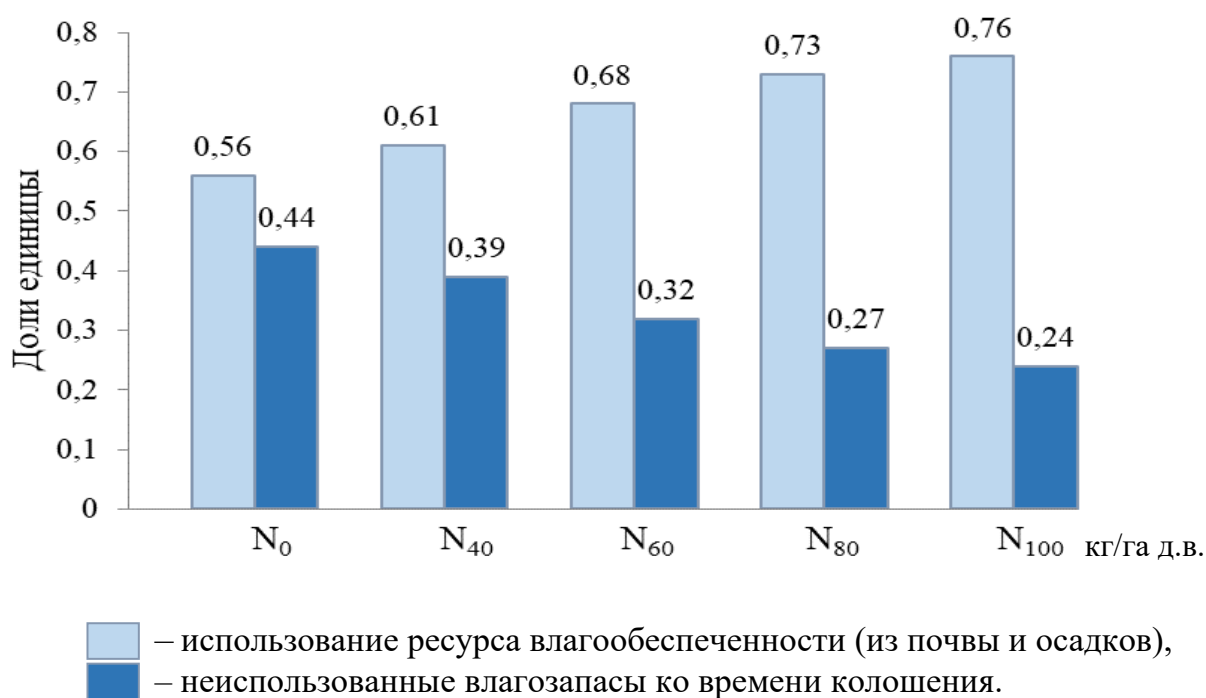


Рисунок 8. Водопотребление озимой пшеницы от возобновления вегетации до колошения в зависимости от норм азота в составе удобрений и навоза

Рост урожайности за счет улучшения азотного питания растений практически не сопряжен с увеличением расхода воды и объясним большим усвоением углекислого газа благодаря увеличению площади листовой поверхности. Последнее при высоких нормах азотного удобрения может быть причиной преждевременного использования почвенных влагозапасов (показано в рис. 8) и, как следствие, вести к загрязнению водоемов и грунтовых вод неиспользованным азотом. Поэтому применение удобрений должно быть дробным и основываться на мониторинге почвенных влагозапасов.

Человек появился в период умирания биосферы, когда её жизнедеятельность была резко ограничена уменьшением питательного материала – углекислоты атмосферы, что сделало климат значительно более суровым.

М. И. Будыко

2.4 Пути повышения эффективности факторов урожая

Наличие природных условий и ресурсов урожайности является результатом эволюции атмосферы, биосферы и климата. Уже во второй половине девятнадцатого столетия великие французские химики Ж. Б. Дюма и Ж. Б. Буссенгó представляли органический мир как «аппендикс атмосферы». «Подводя итог мы заключаем, что первичная атмосфера Земли состоит из трех основных частей: одну из них составляет собственно атмосферный воздух, вторая находится в растениях, третья – в животных... Следовательно, все то, что воздух отдает растениям, они уступают животным, а животные возвращают в атмосферу, – вечный круг, в котором изменяется и проявляется жизнь, а материя только меняет место» [Цит. по 44].

Углеводородные цепочки различной конфигурации являются «скелетом» всех биологических молекул. На долю углерода (С) в растениях суши и почвенном гумусе приходится 54...55 % от его подвижного фонда на планете [45, 46]. Углекислый газ есть малая, но чрезвычайно важная примесь атмосферы, куда он поступает в процессе дегазации мантии планеты и разложения отмершей биомассы, сжигания углеводородов, а также из захоронений его (преимущественно за счет недоокисленного органического углерода) в осадочной толще мирового океана [47, 48]. Следует заметить, что углерод, поступающий в атмосферу за счет использования ископаемого топлива никак не способствует улучшению воздушного питания полевых культур, которые представлены высшими (в эволюционном смысле) травянистыми растениями, а высота источников стока CO_2 в атмосферу, как минимум, в разы

превышает высоту деревьев. К тому же характерное время перемешивания атмосферы более двенадцати лет [49].

Азот, в противоположность углероду, занимает 78 % (по объему) атмосферного воздуха. Если масса резервуаров подвижного фонда углерода (в океане, живой биоте суши и океана, почвенном и водном гумусе) более чем в семьдесят раз превышает его содержание в атмосфере, то количество азота в литосфере соизмеримо с содержанием его в воздухе. Вместе с тем азот является одной из основных частей органической материи, а для дальнейшего роста урожайности полевых культур имеет первостепенное значение.

Ввиду того, что молекулярный азот химически гораздо менее активен, чем кислород, необходимы особые условия для наличия соединений этого элемента в почве. Общеизвестного объяснения накоплению имеющегося запаса минерализованного азота в почве пока не найдено. В современных природных условиях связывание молекулярного азота воздуха и пополнение запасов азотосодержащих соединений азота в почве происходит двумя путями: 1) небольшое количество связанного азота (3-5 кг на га в год) образуется в самой атмосфере под действием грозных разрядов и с осадками в форме аммиака и нитратов поступает в почву; 2) связывание молекулярного азота со свободно живущими в почве азотфиксирующими микроорганизмами (до 3-5 кг на 1 га в год) и клубеньковыми бактериями, живущими в симбиозе с бобовыми растениями (биологический синтез азота). (Вполне возможно, что в предшествующие геологические периоды для указанных путей связывания молекулярного азота условия могли быть более благоприятными). Кроме того, в настоящее время без внимания остается растворенный в воде молекулярный азот, количество которого согласно парциальному давлению в атмосфере (0,78) и растворимости в воде (константа Генри $1610 \text{ атм} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{кг}$) равно 0,134 кг в 1 мл (10 т) воды. При расходе последней более 150 мм получается достаточно заметная величина.

В настоящее время для достижения возможного по влагообеспеченности уровня урожайности и воспроизводства плодородия азот возвращается в почву

с нетоварной частью урожая и сидератами, а также поступает с органическими и минеральными удобрениями. Последние производятся промышленностью (природные запасы чилийской селитры давно израсходованы), что обходится совсем не дешево. Например, энергетические затраты на производство 1 кг азотных удобрений обходятся в 8,6 раз дороже, чем на производство 1 кг дизельного топлива [21].

Из связанных с сельскохозяйственным производством газов пары воды, CO₂, метан, закись азота содержатся в концентрации, способной повлиять на радиационный баланс Земли и, тем самым, на ее климат. Пары воды поглощают большую часть отраженной от поверхности солнечной радиации в инфракрасной области спектра, однако оставляют «окно» для излучения с длиной волны от 8 до 18 мкм, в котором отраженное излучение в диапазоне 12-18 мкм поглощается углекислым газом, а метан и закись азота в коротковолновой части «окна» [цит. по 49]. Следовательно, увеличение концентрации этих газов ведет к усилению парникового эффекта.

Ресурсы урожайности, особенно характеризующие потенциальное плодородие почв, не беспредельны, а это обуславливает необходимость эффективного их использования. Чем продолжительней период вегетации (зависит от набора необходимой суммы температур), тем полнее используется ресурс тепловлагообеспеченности (рис. 9). Одновременно сокращается непроизводительная потеря углекислого газа из почвы в атмосферу. Поскольку потребность в углероде на формирование единицы энергии в основной и побочной частях растений практически одинакова, то увеличение выхода товарной части урожая при бездефицитном балансе азота в севообороте способствует уменьшению бесполезной потери углерода.

Рост продуктивности севооборотов за счет более полного использования природно-ресурсного потенциала также увеличивается по мере насыщения их культурами с продолжительным периодом вегетации.



1 - озимая пшеница после надежных предшественников,
 2 - яровые зерновые, 3 - кукуруза на зерно, 4 - сахарная свекла
 *Относительно использования только почвенного плодородия

Рисунок 9. Полнота использования агроклиматического потенциала ведущими культурами Центрального Черноземья

В сравнительно благоприятных по тепловлагообеспеченности условиям Центрального Черноземья наибольшая продуктивность пашни достигается при оптимально высокой доле пропашных в севооборотах [50, 51], что справедливо и для основных земледельческих зон России [52]. Это, однако, не способствует воспроизводству плодородия, так как достижения высокой продуктивности пашни за счет повышения в структуре посевных площадей удельного веса культур с высоким генетическим потенциалом продуктивности не отменяет

закон возврата, а только усиливает необходимость его обязательного соблюдения. Только включение в севооборот соизмеримых по продуктивности с сахарной свеклой и способных к симбиотической азотфиксации многолетних бобовых трав может способствовать устойчивому росту сельскохозяйственного производства при одновременном решении важнейшей экологической проблемы по сохранению и воспроизводству плодородия почв, а также замедленному поступлению содержащегося в них углерода в атмосферу.

Однако, расширение в структуре посевных площадей доли культур с продолжительным периодом вегетации не единственный и не самый целесообразный путь для сближения хозяйственных и экологических целей из-за увеличения напряженности полевых работ в осенний период, а обработка влажной почвы в это время года отрицательно сказывается на её физических свойствах (явный экологический ущерб). К тому же посевные площади конкретных полевых культур определяются потребностью в необходимых видах продукции.

Важнейшее значение для роста продуктивности пашни имеет улучшение физико-химических свойств главного экологического ресурса сельскохозяйственного производства – почвы. Реакция почвенной среды по совокупности системных связей является ведущим фактором плодородия, определяющим направленность и интенсивность большинства процессов в почве и растениях. Отдача от удобрений в решающей степени зависит от кислотности почвы.

Подобно тому, как почвы обновляются разнообразным и переменным посевом, так и ум наш обновляется размышлением то об одном, то о другом.

Плиний Младший Гай

Глава 3. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СОВРЕМЕННОГО СЕВООБОРОТА

Размышлять «то об одном, то о другом» при разработке схем севооборотов и их систем применительно к условиям и специализации конкретных сельхозпредприятий приходится в силу разностороннего влияния чередования культур на их урожайность и, в конечном итоге, на показатели хозяйственной деятельности и предотвращение экологического ущерба.

3.1 Общие положения

Принципиальные положения о причинах чередования культур, сформулированные Д. Н. Прянишниковым [53] объединены в четыре группы: химические, связанные с различным отношением возделываемых растений к элементам минерального питания; физические, связанные с влиянием сельскохозяйственных культур на структуру, плотность, строение и водный режим почвы, а также на ее устойчивость к водной и ветровой эрозии; причины организационно-экономического порядка позволяют разгрузить пики в полевых работах и использовании техники, а также добиться лучших показателей хозяйственной деятельности за счет состава культур в севооборотах и структуре посевных площадей в целом; группа причин биологического порядка является наиболее обширной и приобрела к настоящему времени без преувеличения наибольшую актуальность, так как связана с фитосанитарным состоянием посевов, деятельностью почвенной микрофлоры, аллелопатическими взаимоотношениями между растениями, которые проявляются в положительном или отрицательном влиянии корневых (также летучих) выделений. Наглядным примером в истории практического земледелия было проявление «клевероутомления» после значительных успехов благодаря

распространению клеверосеяния [25] (подробней на С. 46-47 в указанном источнике).

Снижение урожайности в древней Греции и Риме объясняли тем, что «почва устала и отдыхает». Понадобился весьма длительный период развития естествознания и совершенствования методов тонкого биохимического анализа для выяснения факторов почвоутомления. Применительно к полевым культурам В. Т. Лобков [54] расположил их в последовательности: нарушение экологического равновесия в системе «почва – растение», следствием чего является переход системы на более низкий уровень обмена веществ и энергии и создание условий для смены агрофитоценозов; важнейшую роль в формировании отрицательных свойств почвенной среды играет аллелопатический фактор, проявляющийся в повышении токсичности почвы; почвоутомление сопровождается определенными изменениями в процессах гидролиза и новообразования гумусовых веществ, которые при этом носят, как правило, деструктивный характер; почвоутомление имеет двойственный характер в своем проявлении на росте и развитии культурных растений, его отрицательное действие резко проявляется на росте тех культурных растений, сообществом которых обусловлено это явление, другие виды проявляют при этом бóльшую толерантность; применение минеральных удобрений обуславливает повышение плодородия почвы и в условиях почвоутомления, однако не является эффективным фактором устранения отрицательного действия этого явления; фактор почвоутомления имеет место и при чередовании сходных по биологии культур или высоком насыщении севооборотов культурами одной группы, при этом в почвенной среде происходят изменения, сходные с монокультурой: повышается фитотоксичность почвы, в структуре микробоценозов уменьшается численность микроорганизмов агрономически ценных групп, увеличивается доля фитотоксичных форм в микробоценозах, происходит снижение ее биологической активности.

Понижение уровня обмена веществ проявляется в ослаблении

интенсивности переноса веществ в системе «почва – растение», в том числе за счет скорости биохимических реакций в растениях из-за поступления в них токсичных веществ. В результате урожайность оказывается низкой даже при достаточной обеспеченности водой и питательными веществами [55]. Так, в наших исследованиях в среднем за период с шестого по девятый годы бессменного возделывания урожайность оказалась в 1,7-2,5 раза меньшей, чем в севообороте (табл. 11). При этом накопленная энергия, рассчитанная по расходу воды, в бессменных посевах оказалась завышенной более чем в полтора раза.

Таблица 11

Сравнение накопленной энергии в севооборотах и бессменных посевах стационарного опыта. Среднее за 1987-1990 гг. [58]

Культура	Энергия, ГДж/га*		$\frac{p - \phi}{p}, \%$
	<i>p</i>	<i>φ</i>	
Озимая пшеница			
в севообороте	173	183	-5,8
бессменно	168	72	57,1
Ячмень			
в севообороте	170	168	1,2
бессменно	174	90	48,3
Сахарная свекла			
в севообороте	215	219	-1,9
бессменно	190	131	65,6

* *p* – расчетная энергия по расходу воды, *φ* – фактическая.

По мере интенсификации сельскохозяйственного производства севооборотная тематика становилась одной из ведущих в работе научно-исследовательских учреждений Советского Союза. В шестидесятые годы прошлого столетия разработкой научных основ севооборотов было занято 200 научных учреждений, в том числе 37 сельскохозяйственных вузов [56]. Для координации их работы совместным решением ВАСХНИЛ и министерства сельского хозяйства СССР был создан Координационный совет по севооборотам. На основании анализа результатов исследований, выполненного по программе Координационного совета В. Г. Лошаков сделал следующее обобщающее заключение «Установлено, что во всех зонах страны при самом высоком уровне интенсификации применения удобрений, пестицидов и

регуляторов роста растений не могут заменить высокую эффективность правильного, научно обоснованного севооборота. Самые интенсивные и прогрессивные технологии становятся бессильными, если нарушается закон плодосмена – смена культур на полях при прочих равных условиях эффективнее их бесменного возделывания, и эффективность плодосмена тем выше, чем больше различия в биологии и технологии выращивания культур» [25].

В ходе реализации программ Координационного совета по севооборотам были решены вопросы о допустимом пределе насыщения полевых севооборотов ведущими культурами и установлено первостепенное значение биологических факторов при специализации земледелия, обусловленной дальнейшим углублением специализации сельскохозяйственных предприятий при одновременном усилении интенсивности производства.

Существенный вывод по результатам опытов, выполненных под методическим руководством Координационного совета, состоит в том, что урожайность культур и продуктивность севооборотов в целом, а также себестоимость продукции в решающей степени зависят от того, насколько полно конкретный севооборот создает условия для использования «даровых» возобновляемых экологических ресурсов. Другими словами – конечный результат зависит от степени адаптивности условиям конкретной зоны состава и чередования культур в севооборотах.

*Если ты желаешь возвестить людям
какую-либо важную истину, облеки оную
в одежду общего мнения.*

Пифагор

3.2 Биологизация как фактор воспроизводства плодородия почвы

Биологизация земледелия является лишь одним из факторов более общей задачи – экологизации производства. Последняя есть «...процесс неуклонного и последовательного внедрения систем технологических, управленческих и других решений, позволяющих повышать эффективность использования

естественных ресурсов и условий наряду с улучшением или хотя бы сохранением качества природной среды (или вообще среды жизни) на локальном, региональном и глобальном уровнях» [57].

Применение биологических приемов в земледелии способствует снижению засоренности посевов, уменьшению пораженности культурных растений болезнями и вредителями, обеспечивая усиление фитосанитарной функции плодосмена. Сжато, но достаточно подробно они отмечены в работе [25]. Включение в чередование промежуточных посевов (на корм или зеленое удобрение) обеспечивает как интенсификацию биологической активности почвы [58] так и воспроизводство ее плодородия [59-61].

В свекловичных севооборотах (20 % этой культуры) нашего многолетнего стационарного опыта, заложенного в пространстве и времени всеми полями одновременно на черноземе типичном (тяжелосуглинистом) распространенность болезней растений и энтомологическая ситуация были на уровне ниже экономического порога вредоносности, так как их схемы соответствовали существующим рекомендациям. Степень биологизации, возрастающая в ряду зернопаропропашной, сидеральной и плодосменной севообороты, отразилась на воспроизводстве, что будет показано дальше, плодородия почвы. На абсолютную величину урожайности культур повлияли предшественники и погодные условия в конкретные годы.

Различия в урожайности озимой пшеницы в пределах одинаковых вариантов удобрения зависели от возможности получения дружных и своевременных всходов, которая возрастала в ряду: клевер, пар сидеральный, пар черный (табл. 12). Лучшее увлажнение посевного слоя почвы после сидерального пара сравнительно с занятым было связано с благоприятными агрофизическими свойствами почвы. Практически одинаковая урожайность озимой пшеницы в сидеральном севообороте сравнительно с зернопаропропашным севооборотом на высокоудобренном фоне достигнута 19, а на слабоудобренном (благодаря лучшему питательному режиму почвы) 21 раз. Достоверная прибавка урожайности этой культуры от удвоения норм навоза

практически во все годы наблюдалась только после черного пара, а различия от сочетания с минеральными удобрениями в основном были существенными на обоих фонах внесения навоза после всех предшественников.

Таблица 12

Средняя (за 1992-2015 гг.) урожайность в опыте, т·га⁻¹ в год

Чередование культур в севообороте	Внесено на 1 га севооборота в год			
	6 т навоза	6 т навоза + N ₃₇ P ₃₇ K ₃₇	12 т навоза	12 т навоза + N ₃₇ P ₃₇ K ₃₇
Плодосменный севооборот				
Пар занятый, клевер на 1 укос	15,7	16,6	16,1	16,8
Озимая пшеница	3,15	3,53	3,29	3,61
Сахарная свекла	32,4	34,7	33,6	37,4
Горох	1,87	1,90	1,92	1,99
Ячмень + клевер под покров	3,72	4,12	3,92	4,33
Зернопаропропашной севооборот				
Пар черный	-	-	-	-
Озимая пшеница	3,67	4,22	3,94	4,54
Сахарная свекла	34,6	38,1	36,8	41,9
Кукуруза на силос	29,4	32,6	30,7	34,1
Ячмень	3,24	3,56	3,30	3,80
Сидеральный севооборот				
Пар сидеральный, горох	15,9	16,8	16,6	17,0
Озимая пшеница	3,75	4,12	3,87	4,21
Сахарная свекла	36,5	39,4	37,3	43,3
Кукуруза на силос	30,1	32,7	31,0	34,6
Ячмень	3,29	3,69	3,35	3,77

Урожайность сахарной свеклы в пределах одинаковых вариантов удобрений в звене с занятым паром в большинстве лет была существенно меньше, чем в звеньях с сидеральным и черным парами. Основной причиной этого стала более высокая засоренность посевов, так как при выходе клевера из-под покрова ячменя почва не обрабатывалась, а также лучшие условия для развития сорного компонента агроценоза после указанного предшественника из-за меньшей густоты стеблестоя предшествующей озимой пшеницы. Наилучшие условия для сахарной свеклы сложились в сидеральном севообороте – урожайность её в слабоудобренном варианте оказалась практически такой же, как в наиболее удобренном варианте в плодосменном

севообороте. Преимущество такого размещения относительно зернопаропропашного севооборота обнаружено в 70 % лет на слабоудобренном фоне, а в остальных вариантах оно проявилось в виде устойчивой тенденции.

Урожайность ячменя после гороха практически во все годы исследований на одинаковых уровнях удобренности была достоверно выше (на 13...15 %), чем после кукурузы благодаря несколько лучшим влагообеспеченности и питательному режиму. Относительная прибавка его урожайности от повышения уровня удобренности практически не зависела от вида севооборота.

Виды севооборота мало отразились на продуктивности кукурузы. Достоверные различия в урожайности этой культуры ежегодно имели место на контрастных по уровню удобренности вариантах. Влияние удобрений не существенно влияло на урожайность гороха, а также сидерального и занятого паров.

Сбор зерна и свеклосахарного сырья в севооборотах уменьшался со временем, а разница между этими показателями на конкретных по уровню удобренности вариантах увеличивалась (табл. 13).

Продуктивность севооборотов по ротациям на контрастных по уровню удобренности фонах показана в таблице 14. Решающим образом на нее повлиял состав культур. Несмотря на то, что с полей черного и сидеральных паров не получено хозяйственно значимой продукции, продуктивность зернопаропропашного и сидерального севооборотов оказалась в 1,1...1,2 раза большей сравнительно с плодосменным севооборотом благодаря наличию в них кукурузы.

Таблица 13.

Динамика сбора зерна и корнеплодов сахарной свеклы в севооборотах стационарного опыта ВНИИЗиЗПЭ,
ц с 1 га севооборота

Годы	Севооборот								
	зернопаропропашной			сидеральный			плодосменный		
	Y_1	Y_4	$\frac{(Y_4 - Y_1)}{Y_4}, \%$	Y_1	Y_4	$\frac{(Y_4 - Y_1)}{Y_4}, \%$	Y_1	Y_4	$\frac{(Y_4 - Y_1)}{Y_4}, \%$
Зерно									
1992...1996	15,2	17,0	10,6	15,0	17,0	11,8	20,2	22,4	9,8
1997...2001	14,0	16,6	15,7	13,8	15,8	12,7	17,0	19,2	11,5
2002...2006	13,0	16,4	20,7	13,8	16,2	14,8	17,0	20,0	15,0
2007...2011	12,4	16,0	22,5	12,6	15,2	17,1	15,4	17,8	13,5
2012...2015	13,8	17,0	18,8	14,4	16,8	14,3	16,4	19,8	17,2
Среднее	13,7	16,6	17,6	13,9	16,2	14,1	17,2	19,8	13,1
Сахарная свекла									
1992...1996	78	82	4,9	83	86	3,7	69	75	8,8
1997...2001	70	83	14,8	78	84	7,2	64	71	9,0
2002...2006	79	82	10,3	78	85	8,9	65	74	12,9
2007...2011	63	81	21,3	68	82	17,1	63	72	13,3
2012...2015	65	84	22,8	67	86	20,5	64	73	13,1
Среднее	70	82	14,6	74	85	12,9	65	73	11,5

Примечание – Y_1 и Y_4 – соответственно 6 т навоза и 12 т навоза + $N_{37}P_{37}K_{37}$ на 1 га севооборота.

Таблица 14

Динамика продуктивности севооборотов стационарного опыта ВНИИЗиЗПЭ в зависимости от уровня удобренности, ГДж·га⁻¹·год⁻¹ обменной энергии

Севооборот*	Годы по ротации	У ₁	У ₄	$\frac{У_4-У_1}{У_4}$, %
I	1992-1996	74,0	80,8	8,5
	1997-2001	66,5	73,7	9,8
	2002-2006	66,9	77,2	13,4
	2007-2011	61,8	72,1	14,3
	2012-2015	65,3	74,1	11,9
II	1992-1996	83,0	89,6	7,3
	1997-2001	75,5	87,0	13,2
	2002-2006	76,3	89,2	14,4
	2007-2011	67,2	83,4	19,4
	2012-2015	71,8	89,0	19,3
III	1992-1996	84,5	90,6	6,8
	1997-2001	78,3	86,7	9,7
	2002-2006	79,2	90,8	12,7
	2007-2011	65,6	83,3	17,7
	2012-2015	75,1	90,2	15,1

*I – плодосменный, II – зернопаропропашной, III – сидеральный,

Примечание – У₁ и У₄ – продуктивность при уровнях удобренности соответственно 6 т навоза·га⁻¹·год⁻¹ и 12 т навоза + N₃₇P₃₇K₃₇·га⁻¹·год⁻¹.

Превосходство по продуктивности наибольшего в опыте уровня удобренности имело четкую тенденцию увеличения во времени (рис. 10). В наибольшей степени это характерно для зернопаропропашного севооборота, в наименьшей – для плодосменного. Данный факт стал следствием увеличения различий в урожайности культур, в первую очередь высокопродуктивных. Так, динамика разницы в урожайности сахарной свеклы на контрастных вариантах удобрений составила: за первую ротацию – 3,7...4,9 %, за вторую – 7,2...9,0 %, за третью – 8,5...10,5 %, за четвертую – 17,2...21,3 %, за пятую – 22,2...22,5 %. Аналогичная закономерность замечена нами в пятипольных свекловичных севооборотах разного вида в многолетнем стационарном опыте Белгородского НИИСХ [62].

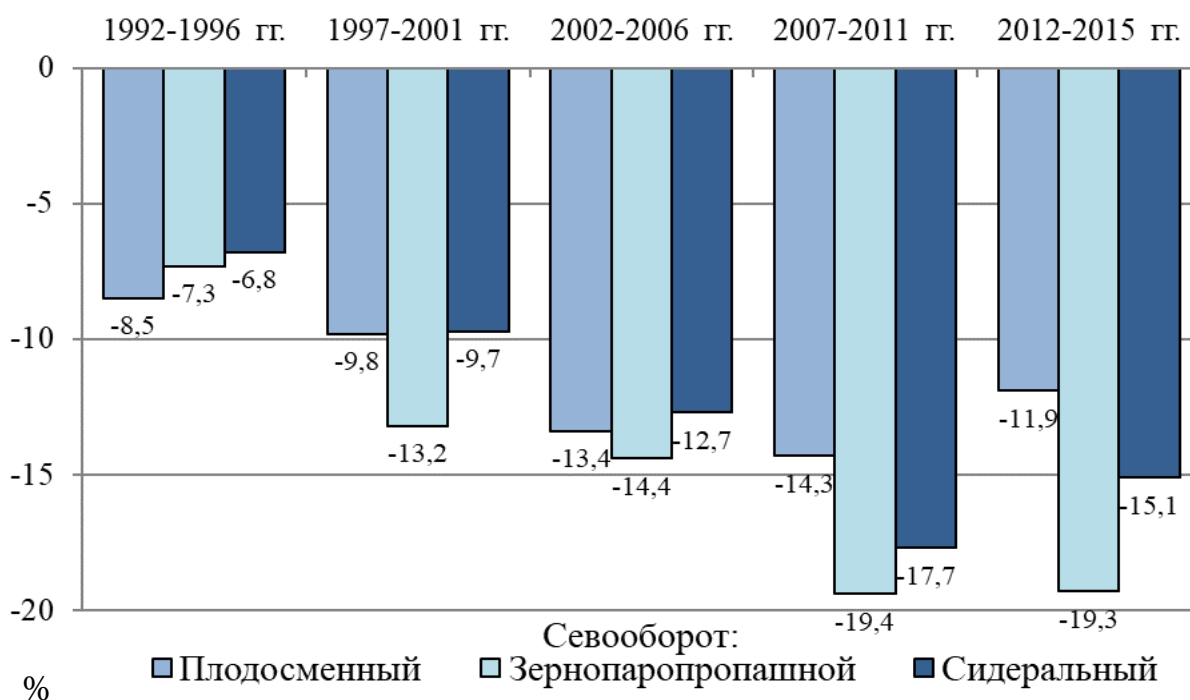
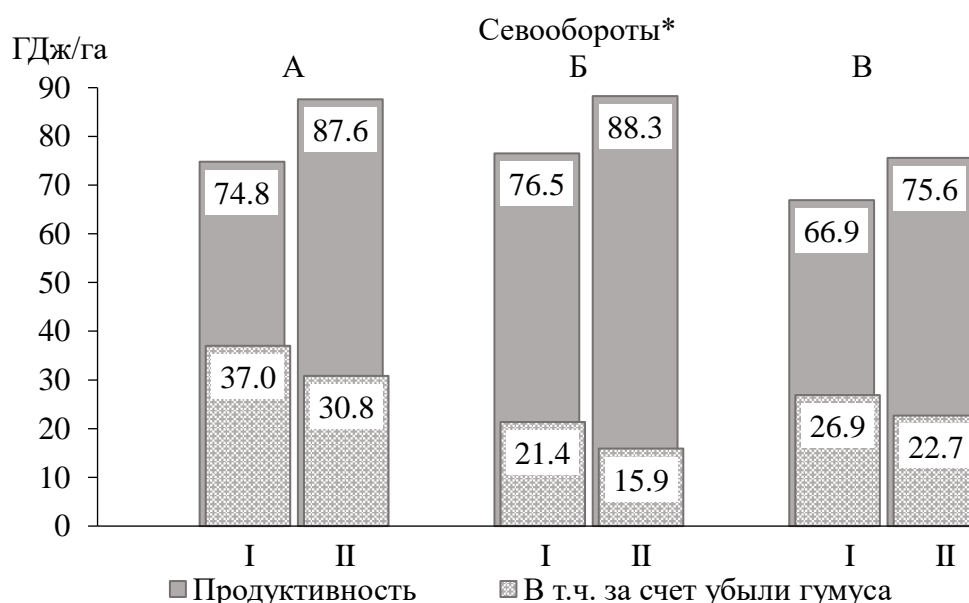


Рисунок 10. Уменьшение по ротациям (в %) продуктивности севооборотов при внесении 6 т навоза относительно 12 т навоза + N₃₇P₃₇K₃₇ на 1 га севооборота

Причиной увеличения со временем разницы в урожайности культур и продуктивности севооборотов в целом стал тот негативный факт, что при всех уровнях удобрений в опыте не был полностью соблюден закон возврата. Баланс элементов минерального питания на слабоудобренном фоне был отрицательным во всех севооборотах. При сочетании навоза с умеренной дозой минеральных удобрений и удвоении нормы навоза баланс стал положительным по фосфору и калию с учетом заделки в почву побочной продукции, а по азоту остался отрицательным (см. табл. 6). Последнее предопределено тем, что отчуждение азота напрямую связано с отчуждением обменной энергии, преобладающей в общем энергосодержании товарной части урожая. Тот факт, что обменная энергия сухой фитомассы (в ГДж) равна полусумме (в кг) азота и пентаоксида фосфора (2/3 обычно приходится на азот), а энергосодержание гумуса (в ГДж) равно половине (в кг) азота в его составе, позволяет рассчитывать потребность азота в удобрительных средствах для обеспечения уравновешенного баланса гумуса.

Повлиявшая на продуктивность севооборотов разница в урожайности

всех зерновых культур в связи с уровнем удобренности увеличивалась во времени при том, что абсолютные значения урожая варьировали в зависимости от погодных условий. В пятой ротации севооборотов сравнительно с первой преимущество положительного влияния бóльшего уровня удобренности увеличилось – на озимой пшенице после чистого и сидерального паров соответственно в 1,6 и 1,4 раза, а на ячмене, непосредственно под который удобрения не вносились, в 2 раза после гороха и в 2,9 раз после кукурузы. Причина этого не в накоплении положительного эффекта от удобрений, а в неодинаковой скорости снижения плодородия почвы из-за разного уровня его воспроизводства, так как в условиях региона с увеличением норм удобрений уменьшается потребление азота из почвы, а его нехватка на формирование урожая при благоприятной влагообеспеченности компенсируется за счет минерализации гумуса [63, 64]. Так, слабоудобренном фоне зернопаропашного севооборота половина продуктивности пашни сформировалась за счет расхода гумуса, а доля участия последнего при удвоении норм навоза в сочетании с минеральными удобрениями уменьшалась до 35 % (рис. 11).



*А – зернопаропашной, Б – сидеральный, В – плодосменный;
І и ІІ – соответственно 6 т навоза и 12 т навоза + N₃₇P₃₇K₃₇ на 1 га севооборота.

Рисунок 11. Формирование продуктивности севооборотов за счет удобрений и расхода гумуса, ГДж/га в год обменной энергии

В биологизированных плодосменном и сидеральном севооборотах расход гумуса был в 1,4...1,7 и 1,4...1,9 раза меньшим, чем в зернопаропропашном севообороте.

*Однажды, ошибаясь при выборе дороги,
Они упрямо шли, глядя на свой компас.
И был их труд велик, шаги их были строги,
Но уводил их прочь от цели каждый час!*

В. Я. Брюсов

3.2.1 Перспективы органического земледелия

До второй половины двадцатого века интенсификация и широкое применение биологических приемов сдерживались как в практическом, так и в научном плане высокой эффективностью химических удобрений и средств защиты растений, казавшейся неограниченной возможностью интенсификации обработки почвы. Однако вскоре стало ясно, что дальнейшая интенсификация земледелия за счет антропогенных факторов ограничена возможностями роста энергетических и материальных затрат на создание единицы продукции, обострением экологических проблем, недостатком сырья и целым рядом других причин. Именно поэтому биологизация земледелия приобрела особую актуальность. Оптимистические надежды на это направление породила реклама «альтернативного земледелия», сделанная Гюнтером Кантом в его книге «Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем» (М.: Агропромиздат, 1988.). Последнее пока остается малопродуктивным в первую очередь из-за отказа от минеральных удобрений, о чем свидетельствуют научные исследования, практика отдельных хозяйств в промышленно развитых странах.

Научно обоснованное земледелие призвано обеспечить решение триединой задачи: 1) производство необходимой растениеводческой продукции; 2) сохранение и повышение плодородия почв; 3) безвредность производства для окружающей среды. Высокопродуктивное использование пашни за счет оптимального насыщения севооборотов адаптивными в

конкретных условиях культурами позволяет без применения минеральных удобрений решить только первую и третью составляющие этой задачи. К тому же лишь в течение определенного периода, так как несоблюдение закона возврата ведет к истощению естественного плодородия почвы и в итоге к снижению эффективного ее плодородия, которое необходимо в первую очередь для культур с высокой потенциальной продуктивностью.

Во всех зонах интенсивного земледелия наблюдается отрицательный баланс по содержанию в почве азота и гумуса, а также фосфора. Устранить это за счет только биологических приемов без существенного снижения производства сельскохозяйственной продукции практически невозможно. Необходимо сочетание как антропогенных, так и биологических факторов сохранения и повышения плодородия почв. В стационарном опыте МСХА им. Тимирязева расширенное воспроизводство гумуса было достигнуто только при совместном использовании зеленого удобрения и соломы в течение двух ротаций шестипольного зернового севооборота на фоне расчетных доз минеральных удобрений на запланированный урожай, что приближается к влиянию двухлетнего использования посевов многолетних трав в плодосменном севообороте за те же две шестилетние ротации на том же фоне минеральных удобрений [65]. В общем плане биологизация является лишь одним из факторов реализации важнейшего требования современности – экологизации.

Схема нашего многолетнего стационарного опыта наряду с вариантами сугубо органического земледелия включала сочетание их с минеральными удобрениями. При анализе данных, представленных в таблице 14, ключевым был уровень удобренности в силу различий по составу культур в севооборотах. Увеличение продуктивности относительно наименее удобренного варианта (6 т навоза на 1 га севооборота) составило: 2,7...4,0 % при удвоении нормы навоза, 7,2...9,0 % при сочетании одинарной нормы навоза с минеральными удобрениями и 13,1...15,2 % при внесении на 1 га севооборота 12 т навоза + $N_{37}P_{37}K_{37}$.

Таблица 14

Продуктивность севооборотов в зависимости от уровня удобрённости, ГДж/га ОЕ. Среднее за 1992-2015 гг.

Внесено на 1 га севооборота в год	Севооборот		
	зернопаро-пропашной	сидеральный	плодосменный
6 т навоза	74,7	76,5	69,9
6 т навоза + N ₃₇ P ₃₇ K ₃₇	81,1	82,0	76,2
12 т навоза	77,7	78,6	72,6
12 т навоза + N ₃₇ P ₃₇ K ₃₇	86,1	86,5	79,9

Следует заметить, что преимущество по продуктивности зернопаропропашного севооборота в действительности мнимое с учетом бóльшего по сравнению с более биологизированными сидеральным и плодосменным севооборотами (см. табл. 6 и 7, рис. 7).

Важно также отметить, что с повышением уровня удобрённости проявился синергетический эффект – в варианте сочетания двойной нормы навоза с минеральными удобрениями прирост продуктивности оказался большим суммы приростов в остальных вариантах (рис. 12).

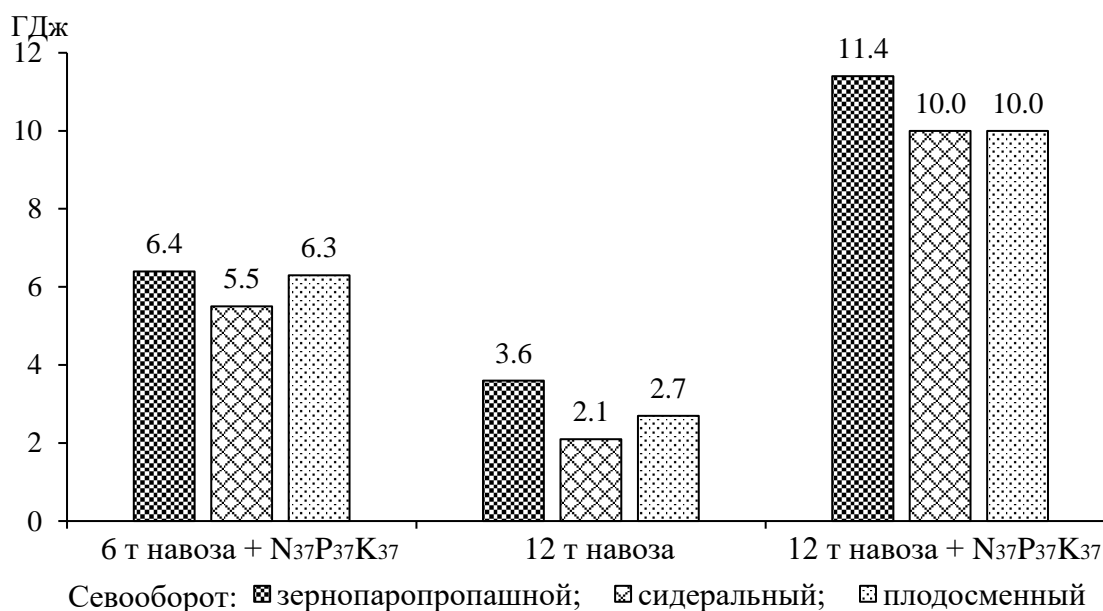


Рисунок 12. Приросты продуктивности севооборотов от удобрений относительно слабо удобренного (6 т/га навоза) фона, ГДж/га

Перспектива становления органического земледелия ограничена возможностью воспроизводства плодородия почв. Один из основных законов

земледелия, закон равнозначности и незаменимости факторов урожая, может быть реализован только при неукоснительном соблюдении закона возврата, первооткрыватель которого Ю. Либих сформулировал его как «закон **полного** возврата».

Отчуждение азота с товарной частью урожая можно компенсировать за счет включения в севооборот зернобобовых культур и многолетних трав. Но как без минеральных удобрений обеспечить поступление в почву таких важных макроэлементов как калий и фосфор? Ведь их возврат с побочной продукцией неизбежно будет уменьшаться. Несмотря на то, что зависящее от минералогического состава почвы валовое содержание калия в почвах больше, чем азота и фосфора вместе взятых, запасы его не беспредельны и уменьшаются с глубиной почвенного профиля [66].

За десять ротаций пятипольных севооборотов содержание обменного калия и подвижного фосфора в слое 0-40 см типичного чернозема не только не уменьшилось, но даже малозаметно увеличилось даже в неудобренных вариантах несмотря на значительный вынос с урожаем [67, 68]. При применении минеральных удобрений и навоза это увеличение в зависимости от структуры этих севооборотов было в 13...16 раз меньшим, чем поступление в почву. Это объясняется тем, что при внесении в почву эти элементы быстро ею фиксируются и в условиях периодически промывного водного режима не вымываются глубже подпахотного горизонта. То же происходит с фосфором и калием, высвобождающимися при минерализации корневых систем растений в верхнем сорокасантиметровом слое почвы.

*Нельзя уверовать в то, что ты
предварительно не понял.*

Пьер Абеляр

3.3 Неизменная функция севооборота

Наука развивается путем противопоставлений, однако традиция предполагает, что бесконфликтное существование возможно только при

безличностном изложении. К тому у расхожих заблуждений обычно много сторонников и даже поклонников, перечисление которых заняло бы много времени и места.

Существует мнение, что для достижения экологических целей земледелие должно вестись «в соответствии с природой». Степень обоснованности этого тезиса позволяет оценить сравнение естественных фитоценозов и агроценозов (табл. 15), имеющих решающие признаки систем в собственном смысле этого понятия – «взаимосвязь и взаимообусловленность элементов; изменение одного фактора служит непосредственной причиной изменения других; функциональная целостность и полнота; внутренняя самодетерминация поведения элементов и объекта в целом» [69].

Таблица 15

Сравнение естественных фитоценозов и агроценозов

Показатели	Сравниваемые объекты	
	фитоценозы	системы земледелия
Соответствие определению «динамическая система»	да	да
Внешний движитель функционирования	солнечная энергия	солнечная энергия
Основа функционирования	перенос веществ	перенос веществ
Характеристика циклов переноса: воды углерода азота фосфора и калия	разомкнутый	разомкнутый
	разомкнутый	разомкнутый
	практически замкнутый	разомкнутый
	замкнутый	разомкнутый
«Цель» функционирования	самообеспечение устойчивости	удовлетворение потребностей или прибыль
Продукт функционирования	органическое вещество	органическое вещество
Качество продуцентов в трофической цепи	низкое	удовлетворительное
Факторы величины и устойчивости продуктивности	погодные условия	погодные условия, научное обеспечение, антропогенные ресурсы
Вероятность отрицательного влияния на окружающую среду	низкая	высокая
Сложность системы	высокая	очень высокая
Обеспечение устойчивости системы	саморегулирование	управление

У них одинаковы внешний движитель, основа и продукт (качество разное) функционирования. Различия между ними в пригодности удовлетворять общественные потребности, механизме обеспечения устойчивости и возможных отрицательных последствиях для окружающей среды.

Основные вещественные ресурсы продуктивности в естественных фитоценозах и агросистемах одни и те же – вода, углерод почвы и атмосферы, элементы минерального питания. Гидрологический цикл осуществляется в планетарном масштабе и приход воды одинаков для природных и агросистем.

В то же время накопление воды в почве и ее использованием можно управлять посредством состава и чередовании культур, а в естественных системах эффективность ее использования зависит от способностей фитоценозов перестраивать свою структуру (изменять компонентный состав) в зависимости от колебаний погоды.

В оптимальных (и только в оптимальных) по видовому составу фитоценозах условия для «вращения» углерода по замкнутой кривой лучше, а возможность бесполезной его эмиссии в атмосферу меньше, чем в агроценозах.

Элементы минерального питания отчуждаются из агроценозов по двум основным каналам – с урожаем и в результате эрозии почв. Опасность развития последней в агроценозах велика в начальные периоды развития растений и при их отсутствии на поле (в природных фитоценозах она минимальна), а потери вещества могут значительно превышать его вынос с урожаем.

Коренные различия между естественными экосистемами и агроэкосистемами – первые производят фитомассу «для себя», их устойчивость обеспечивается саморегулированием; вторые – системы природопользовательные, достижение экономических (хозяйственных) целей в них осуществляется за счет комплекса антропогенных воздействий, которые при кажущейся эффективности могут иметь отрицательные последствия для окружающей среды (в первую очередь за счет деградации почв и средств химизации) и их необходимо приспосабливать к меняющимся внешним условиям (колебания погоды, цен, конъюнктуры рынка). «Результаты

продукционного процесса таковы, что из производимой биологической продукции в естественных ценозах изымается 1/8–1/10 часть, а из посевов до 80 %» [21].

Из краткого изложения результатов анализа сходств и различий сравниваемых систем видно, что в экологичном и одновременно высокопродуктивном земледелии необходимо и вполне реально задействовать следующие свойства естественных фитоценозов: более полное потребление «даровых» возобновляемых природных ресурсов (тепло, вода, углекислый газ, биологический азот) как на рост продуктивности, так и на воспроизводство плодородия; более полное использование культурных растений (также их остатков) для защиты почв от разрушения.⁵⁾

В условиях ограниченности ресурсов урожайности весьма актуален вопрос об эффективном их использовании. Доминирующий подход в этом направлении базируется на законе совокупного действия факторов. Последнее пытаются с различной степенью успеха описать обычно в виде корреляционно-регрессионных уравнений. В силу локальности последних, а также большого количества усредненных показателей существенно затрудняется моделирование не только систем земледелия в целом, но и их подсистем, в частности систем севооборотов, т.к. из-за указанных причин трудно отследить динамику процесса. Между тем, значительными колебаниями отличаются, например, погодные условия. Как показали специальные исследования И. Г. Пыхтина [70], доля их вклада в формирование продуктивности севооборотов в районах неустойчивого увлажнения лесостепной зоны превышает 20 %, что указывает на необходимость разработки именно динамичных моделей функционирования агроценозов. Количество показателей в них должно быть минимальным в целях перераспределения нагрузки в расчетах на описание процессов, а выбор показателей должен иметь объективную основу.

Рассматривая вещественно-энергетические аспекты становления биологических структур Н. С. Печуркин пришел в следующем (в сжатой форме) обобщениям [71]:

1. Внешний движитель – источник энергии вызывает циклические переносы вещества, организующие динамические структуры в промежуточной системе. Сам момент появления структуры случаен, он связан с флуктуациями в системе.

2. Эти структуры более интенсивно выполняют функции переноса, выживают в конкурентной борьбе наиболее эффективные (их можно назвать «приспособленные»).

3. Если при изменении потока энергии структура начинает хуже выполнять функцию переноса, то она либо заменяется на новую, либо исчезает совсем.

Самый общий вывод: в системе с притоком свободной энергии структура вторична, функция первична.

Им дано одно из определений жизни с позиций функционального подхода как открытой системы, развивающийся «под влиянием внешнего потока энергии, ограниченной по веществу и использующей циклы реакций». Последнее (циклы реакций) актуально для клетки и индивидуальных организмов. Для надорганизменных систем (структур) – естественных фитоценозов, культур севооборота, бессменных посевов – на первый план выходят циклы переноса вещества, особенно учитывая его нехватку. В.Р. Вильямс писал, что единственный способ придать ограниченному количеству свойства бесконечного – это заставить его вращаться по замкнутой кривой.

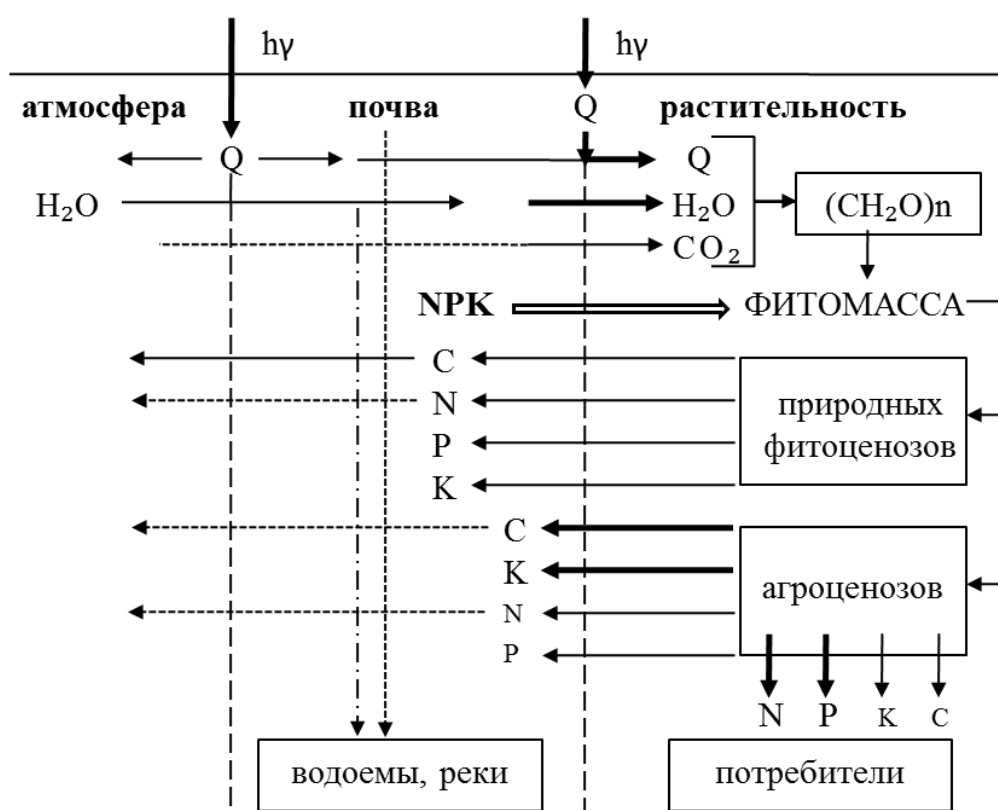
Основные вещественные ресурсы в естественных фитоценозах и агро системах одни и те же – вода, углерод почвы и атмосферы, элементы минерального питания растений (рис. 13).

Гидрологический цикл осуществляется в планетарном масштабе и годовой приход воды одинаков для природных и агро систем. В то же время посредством состава и чередования культур можно управлять процессом накопления влаги в почве и ее расходом. В естественных условиях эффективность использования воды целиком зависит от способности

фитоценозов перестраивать свою структуру (компонентный состав) в зависимости от колебаний погоды.

В оптимальных (и только в оптимальных) по видовому составу фитоценозах условия для «вращения» углерода по замкнутой кривой лучше, а опасность бесполезной его эмиссии в атмосферу меньше, чем в агроценозах.

Потоки необходимых для формирования урожая веществ пересекаются в почве, которая так аккумулирует осадки и теплоту, благодаря почве обеспечивается корневое и воздушное (до 80 % потребляемого при фотосинтезе углекислого газа приходится на эмиссию его из почвы) питание растений (рис. 13).



$h\gamma$ – излучение Солнца; Q – теплота; H_2O – вода; CO_2 – углекислый газ; $(CH_2O)_n$ – углеводы; C, N, P, K – соответственно углерод, азот, фосфор, калий. Большим размерам и лучшей четкости стрелок и обозначений соответствует больший объем переноса веществ

Рисунок 13. Принципиальная схема агрономически значимых вещественно-энергетических потоков

Устойчивость продуктивности естественных фитоценозов обеспечивается саморегулированием путем перестройки своей структуры

благодаря широкому набору растений с неодинаковыми требованиями к наличию ресурсов при перемещении питательных веществ в системе «почва-фитоценоз» практически по замкнутой кривой, а для достижения высокого хозяйственного эффекта агроценозов, в которых с товарной частью урожая отчуждается значительное количество веществ и энергии, необходимо управление использованием последних за счет агротехнических приемов.

Оптимальный состав и чередование культур – это не только рассредоточенный во времени аналог естественного фитоценоза, но и механизм распределения ресурсов продуктивности пашни соответственно потребностям конкретных культур.

Поэтому ошибочно определение севооборотов как, «искусственно создаваемых сукцессий».⁶⁾ Спектр задач, решаемых посредством чередования культур широк и разнообразен. Между тем, из истории земледелия известно, что на каждом конкретном этапе его развития выделялась какая-либо отдельная положительная сторона севооборота. Д. Н. Прянишников обобщил и сгруппировал причины, обуславливающие необходимость чередования культур. Однако и в настоящее время «узкие» исследователи, работающие в области земледелия (по К. Пруткову «всякий специалист подобен флюсу – полнота его односторонняя»), смотрят на севооборот с позиций задач их научной дисциплины. Такое «всеобщее признание» обычно преувеличивает, но часто маскирует истинную роль севооборота и именно поэтому даже высказывалось мнение о возможности отказа от чередования культур по мере интенсификации земледелия.

Продуктивность бессменных посевов всецело зависит от погодных условий и степени почвоутомления, которое отрицательно сказывается на эффективности использования растениями факторов урожая. В итоге даже при оптимальной обеспеченности водой, минеральным питанием и строгим контроле фитосанитарного состояния посевов урожайность здесь ниже, чем в севообороте [54, 55].

Направленность обозначенных потоков объективно предопределяет два уровня управления – в агроландшафтах и непосредственно в севооборотах.

В соответствии со вторым законом термодинамики все процессы в неживой природе направлены в сторону достижения равновесия, то есть увеличения беспорядка. Севооборот уже по своему определению есть «порядок чередования культур и пара во времени и на территории хозяйства». Как отмечено ранее, для живой природы характерна направленность в сторону увеличения порядка. Означает ли это, что понятие «порядок, как мера информированности системы» и «порядок чередования культур» тождественны? Для ответа на данный вопрос необходимо посмотреть на особенности севооборота, бессменного посева и естественного фитоценоза через призму специфики земледелия.

Из данных таблицы 11 (С. 54) видно, что метод расчета накопленной энергии через расход воды для бессменных посевов оказывается непригодным. Дело в том, что при бессменном возделывании или беспорядочном чередовании культур увеличивается количество и масса сорняков в посевах, а также органов вегетативного и семенного размножения в почве, которые являются опасными конкурентами культурных растений в использовании света, тепла, влаги и элементов минерального питания. Накопленная в сорняках энергия по отношению к целям и задачам производства оказывается потерей информации.

По сравнению с агрофитоценозами в бессменных посевах и естественных фитоценозах произрастает гораздо большее количество видов, во взаимоотношениях между которыми имеют место как синергизм, так и конкуренция. В последней высокопродуктивные и одновременно хозяйственно полезные виды обычно оказываются не в числе победителей, веским доказательством чему, например, является периодическая необходимость в проведении поверхностных и коренного улучшений естественных кормовых угодий. С течением времени естественные фитоценозы периодически достигают стационарного состояния, которому соответствует высокая суммарная продуктивность. Именно суммарная, как сумма накопленной

энергии большим количеством разных по продолжительности периода вегетации видов. Если даже отвлечься от факта, что целью сельскохозяйственного производства является получение конкретных видов продукции и оперировать только термином «энергия», то извлечение последней из фитоценозов для практических целей с помощью средств механизации окажется энергетически крайне невыгодным (к тому же разрушительным для системы естественного фитоценоза), а собирательный этап добывания пищи в основном завершился несколько тысячелетий назад.

Увеличение беспорядка в культурном земледелии соответствует в первую очередь увеличению числа видов в агроценозе за счет сорных растений. Накопление специфических болезней и вредителей в бессменных посевах ослабляет конкурентную способность культурных растений по отношению к сорнякам. В результате по мере увеличения продолжительности бессменного возделывания видовой состав, количество и доля сорных растений в агрофитоценозе увеличивается и если не интенсифицировать уход за посевами путем дополнительных вложений в первую очередь за счет применения гербицидов и пестицидов, то производительность пашни резко снижается.

Неблагоприятная фитосанитарная обстановка в посевах, независимо от обусловивших ее причин (бессменное возделывание, беспорядочное чередование, несоблюдение технологии), ведет к рассеянию вещества и энергии. При почвоутомлении и отрицательных (из-за несовместимых чередований) аллелопатических эффектах ослабляется интенсивность переноса веществ вследствие снижения скорости биохимических реакций в растениях под воздействием токсичных соединений. В результате урожайность оказывается низкой даже при хорошей обеспеченности водой и питательными веществами, которые не потребляются угнетенными растениями [54]. В свою очередь не использование ресурсов ведет к бесполезной их потере.

При общей энтропийной направленности процессов в окружающем мире, законы природы приводят к появлению определенного порядка из хаоса, примером чему являются живые организмы. Однако, только растения на

протяжении своего жизненного цикла постоянно уменьшают энтропию. Животные, особенно теплокровные несмотря на то, что их организм является высшей степени организованной и упорядоченной системой, перерабатывая пищу (основной источник притока негэнтропии извне) увеличивают энтропию. Разумеется, в результате разложения микроорганизмами отмерших растительных остатков энтропия также возрастает. Вместе с тем сохраняется, часто на очень продолжительное время, большое количество информации, заключенной в органах семенного и вегетативного размножения растений. Причем информированность культурных растений выше, что является результатом длительного целенаправленного отбора в селекции и создание генномодифицированных видов растений. Однако, реализация этой информации в фитопродуктивности ограничивается наличием вещества (вода, минеральные соли) на конкретной территории.

Наличие устойчивых, стационарных состояний в естественных фитоценозах есть результат самоорганизации. Понимание этого процесса существенно прояснилось благодаря новому методу исследований, название которого получило термин «синергетика», цель которой – выявление общих закономерностей в формировании структур. Одним из ключевых понятий синергетики является термодинамическая ветвь, которую ввел И. Пригожин [72] при изучении необратимых процессов в химических реакциях. Уравнения модели некоторой системы могут давать при определенных значениях ее параметров стационарное устойчивое решение. В этом случае говорят, что система находится на термодинамической ветви. В случае устойчивого состояния естественного фитоценоза отсутствует межвидовая конкуренция растений, во взаимоотношениях между ними устанавливается определенный порядок, и система оказывается в стороне (на ветви) по отношению к общему направлению в сторону увеличения беспорядка.

Цели и задачи сельскохозяйственного производства – получение нужных видов продукции в необходимом количестве в принципе безразличны для процессов самоорганизации. Поэтому в системах земледелия осуществляются

процессы управления и организации, а для этого необходима информация. Благодаря севооборотам взаимоотношения между возделываемыми растениями переводятся на термодинамическую ветвь, аналогичную стационарному состоянию в естественных растительных формациях с той разницей, что указанные взаимоотношения организуются во времени.

Чтобы объективно оценить роль и место севооборотов в системах земледелия важно уяснить их неизменную специфическую функцию, обусловленную фундаментальными законами природы.

Севооборот по своей сути – программа использования пашни. С информационных позиций составом и чередованием культур организуется управление использованием, превращением и распределением потоков вещества и энергии, как природных, так и антропогенных. Эта функция севооборотов неизменна во всех системах земледелия. Ее информационной базой является экспериментальные данные по балансу влаги, элементов минерального питания и гумуса, направленности микробиологических процессов, аллелопатических эффектах, динамике превращения органического вещества и т.д., полученные в стационарных опытах. В целом имеется достаточно доводов для утверждения, что порядок чередования культур соответствует понятию порядка, как меры информированности. От того, насколько в севообороте учитываются биологические особенности культур, условия агроландшафта, результаты научных исследований – в решающей степени зависит продуктивность пашни и плодородие почв.

По составу и чередованию культур, обозначенному схемой севооборота, можно уверенно судить о балансе элементов минерального питания и органического вещества почвы, направленности и интенсивности микробиологических процессов в ней, видовом составе сорных растений, опасности появления вредителей и болезней, явлении почвоутомления, аллелопатических эффектов. Важная исходная информация обобщается в процессе землеустройства, что обеспечивает качественную разработку систем земледелия и создает условия для внесения корректировок оперативного

характера. Замечательно то, что сведения, точное значение которых иметь наперед в принципе невозможно (например, количество осадков за определенный период) в севообороте не теряют своей значимости как состоявшийся факт.

Таким образом, севообороты являются информационной основой эффективного использования ресурсов продуктивности пашни и в силу этого были, есть и будут основой систем земледелия.

Процесс получения и использования информации является процессом нашего приспособления к случайностям внешней среды и нашей жизнедеятельности в этой среде.

Норберт Винер

3.3.1 Управление вещественно-энергетическими потоками в севооборотах

Управление осуществляется посредством обдуманых решений. Чтобы управлять, надо иметь выбор, то есть обладать информацией. Получение, переработка, хранение и передача информации является принципиальной основой процесса управления.

Потребность в управлении вещественно-энергетическими потоками объективно обусловлена необходимостью высокоэффективного использования возобновляемых природных ресурсов, обеспечивающего повышения отдачи от антропогенных вложений.

По схеме севооборота можно рассчитать урожайность и изменение плодородия почвы благодаря следующим (обоснование в главе 2) взаимосвязанным вещественно-энергетическим превращениям:

– при расходе (Р) посевами 1 мм (10 т/га) воды в фитомассе накапливается 0,567 ГДж энергии (Е);

– энергия (в ГДж) фитомассы основной и побочной продукции (порознь и суммарно) равна сумме выносов (в кг) $\frac{1}{2}N$, $\frac{1}{2} P_2O_5$, K_2O ;

– эквивалентная сбору кормовых единиц обменная (ОЕ) энергия (в ГДж) равна полусумме выноса (в кг) N и P₂O₅, а так как около двух её третей связано с азотом, то и отчуждение последнего с урожаем равно произведению ОЕ на 1,34 (2 x 0,67);

– энергосодержание гумуса (в ГДж) равно половине заключенного в нем азота (в кг);

– расход воды посевами зависит от необходимой суммы температур или фактической величины этого показателя (при незавершенном или двухлетнем, как у свеклы, цикле развития) и равен произведению влагообеспеченности [весенние запасы продуктивной влаги (Вв) + осадки за вегетацию (Осл)] на специальный коэффициент, который описывается формулой:

$$K_p = 10^{-13} 4,9N [T^4 + 7 (T^4 - T_1^4)],$$

где N – продолжительность вегетации в днях,

T и T₁ – соответственно среднесуточная за период вегетации и минимальная для конкретных культур температуры в °К (использование термодинамической шкалы температур обусловлено тем, что формула для расчета K_p основана на применении фундаментальной физической константы – постоянной Стефана-Больцмана).

Перечисленные взаимосвязи не противоречат положению о неодинаковых требованиях разных культур к условиям среды, но отражают тот факт, что условия – это в большей части одновременно и ресурсы урожайности. Поскольку перечисленные зависимости установлены по результатам анализа обширного экспериментального материала, полученного в неодинаковых условиях в разные годы, позволяет считать их универсальными и проводить расчеты, необходимые для принятия адекватных решений.

Для прогноза урожайности конкретных культур следует умножить влагообеспеченность на коэффициент K_p. Затем умножить полученное значение на специальный коэффициент K_у, который отражает вероятность включения всей энергии фитомассы в основную продукцию. Величины последнего возрастают по мере повышения доз азота. Прибавка (в ц/га) к

неудобренному варианту дается функцией $\alpha \ln N$ (N в кг/га), где α – коэффициент, отражающий повышение урожайности конкретных культур от поступления в почву азота.

Эмпирически установленная формула для расчета предпосевных влагозапасов корнеобитаемого слоя до 1,5...2,0 м в регионах с годовым количеством осадков больше 380 мм при глубоком (ниже 6 м) уровне грунтовых вод имеет вид: $V_v = 0,50 V_k + 0,80 O_{с3}$, где V_k и $O_{с3}$ соответственно неиспользованные предшественником почвенные влагозапасы и осадки холодного (< 5 °С) периода.

Проведение прогнозных расчетов с использованием перечисленных нормативов на примере свекловичного севооборота с сидеральным паром в стационарном опыте ВНИИЗиЗПЭ показало близость расчетных величин к экспериментальным как по урожайности, так и по балансу гумуса (табл. 16). Это подтверждает целесообразность выбора наиболее приемлемых схем севооборота из ряда возможных на основе учета среднесуточных агрометеорологических показателей [73].

Предложенный метод был апробирован на пригодность для принятия решений о временной модификации схем севооборотов, необходимость в которой возникает в связи с колебаниями конъюнктуры рынка и погоды. Урожайность рассчитывали соответственно условиям конкретных лет с привязкой к послеуборочным влагозапасам 1991 г. во всех полях трех севооборотов нашего стационарного опыта ВНИИЗиЗПЭ при минимальном и максимальном уровнях удобрённости – соответственно 6 т навоза и 12 т + $N_{37}P_{37}K_{37}$ на 1 га севооборота. Почти две трети различий между фактическими и экспериментальными величинами попали в интервал 10...20 % и более трети оказались меньше 10 %, а отклонения от 20 до 30 % не превысили 4 % от общего числа сравниваемых пар (расчетных и фактических).

Таблица 16

Сравнение расчетных величин урожайности и баланса гумуса на примере севооборота с сидеральным паром в стационарном опыте ВНИИЗиЗПЭ. Среднее за 1992-2015 гг.

Культура севооборота	Вк, мм	Вв, мм	Осл, мм	Кр	Р, мм	Е, ГДж/га	Ку ₁ *	Ку ₄ *	Урожайность, ц/га				Отклонение расчета от факта, %	
									расчетная		фактическая		при У ₁	при У ₄
									У ₁ *	У ₄ *	У ₁	У ₄		
Пар сидеральный	117	204	91	0,55	162	92	1,82	1,85	167	170	159	167	5	2
Озимая пшеница	133	211	155	0,72	264	149	0,28	0,31	42	46	38	44	10	-4
Сахарная свекла	102	198	220	0,92	385	218	1,63	1,90	355	414	364	421	-3	-2
Кукуруза на силос	33	170	192	0,75	272	154	1,88	2,07	289	319	332	370	-15	-16
Ячмень	90	193	159	0,67	236	134	0,27	0,30	36	40	33	39	8	3
Отчуждение азота с товарной частью урожая (ОЕ x 1,34), кг/га за год									х	х	-77	-116	х	х
Поступление азота с навозом и минеральными удобрениями, кг/га за год									30	97	30	97	х	х
Баланс азота, кг/га за год									х	х	-47	-19	х	х
Баланс гумуса, т/га за год $(\frac{\text{баланс N}}{46^{**}})$									-1,02	-0,42	-0,91	-0,49	12	-14

* У₁ и У₄ – урожайность при внесении на 1 га севооборота соответственно 6 т навоза и 12 т + N₃₇P₃₇K₃₇;

** содержание азота в 1 т гумуса, кг.

Примечание – Осадки за холодный период – 180 мм.

Неточности в расчетах урожайности обычно связаны с несовпадением периодов интенсивного водопотребления культур с временем выпадения летних осадков, но главным образом объясняются тем, что роль чередования культур не исчерпывается влиянием на влагообеспеченность посевов. Поэтому при временной модификации схем севооборотов в расчеты следует вводить коэффициенты относительной урожайности, которые устанавливаются эмпирически по результатам многолетних опытов.

Отклонения в расчетах баланса гумуса связаны со степенью использования мероприятий по управлению его воспроизводством [74]. Расходная статья в балансе гумуса обусловлена отчуждением азота с урожаем. Азотный режим почвы полностью контролируют почвенные микроорганизмы, потоки азота через клетки которых в 2...3 раза превосходят его потребление полевыми культурами [35], в силу чего точность расчетов баланса гумуса составляет 20...30 %.

Отмеченная зависимость от дозы азота продуктивности пашни и баланса гумуса подтвердилась в стационарном опыте с несколько измененными нормами удобрений.

Наличие азота в доступной для растений форме зависит от внесения в почву минеральных удобрений, возврата с побочной продукцией, направления трансформации зеленого удобрения и лабильной части гумуса. Рассчитанная с учетом наличия перечисленных источников азота продуктивность севооборотов оказалась несколько завышенной (табл. 17). Однако, в большинстве случаев отклонения не превысили 10 % без искажения действия изучаемых факторов.

В варианте без минеральных удобрений продуктивность всех севооборотов сформировалась в основном, за счет наличия доступного азота за счет убыли гумуса – в зернопаропропашном севообороте на 73,3 %, что в 1,2 раза больше, чем в сидеральном и плодосменном севооборотах. Вклад азота минеральных удобрений в накопление отчуждаемой обменной энергии увеличивался по мере роста продуктивности пашни благодаря повышению уровня удобренности, которое способствовало также уменьшению расхода

гумуса. Так, за счет последнего в наиболее удобренном варианте зернопаропропашного севооборота сформировалось 36,7 % продуктивности или в два раза меньше по сравнению с вариантом без удобрений. Это согласуется с законом возврата и тем фактом, что в условиях региона с увеличением норм удобрений уменьшается потребление азота из почвы, а его нехватка на формирование урожая при достаточной влагообеспеченности компенсируется за счет минерализации гумуса.

Таблица 17.

Формирование продуктивности севооборотов в зависимости от удобрений и состава культур. Среднее за 2016-2022 гг.

Вариант удобренности	Накопление обменной энергии (ГДж/га в год) за счёт								
	минерализации					минеральных удобрений	всего		$\frac{\rho - \phi}{\rho}, \%$
	соломы зерновых	соломы бобовых	ботвы сахарной свеклы	сидерата	гумуса		ρ^*	ϕ	
Зернопаропропашной севооборот									
N ₀ P ₀ K ₀	6,2	-	6,5	-	43,2	0,0	55,9	56,0	-0,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	6,3	-	6,9	-	33,8	20,0	67,0	61,9	7,6
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	6,4	-	7,0	-	30,8	26,6	70,8	65,7	7,2
N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	6,5	-	7,1	-	28,0	34,6	76,2	68,8	9,7
Сидеральный севооборот									
N ₀ P ₀ K ₀	6,2	-	6,5	10,2	36,6	0,0	59,5	58,3	2,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	6,3	-	6,9	10,8	25,5	20,0	69,5	63,3	8,9
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	6,4	-	7,0	10,9	21,4	26,6	72,3	67,7	6,4
N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	6,5	-	7,1	10,9	18,8	34,6	77,9	70,4	9,6
Плодосменный севооборот									
N ₀ P ₀ K ₀	6,0	6,8	6,5	-	34,3	0,0	53,6	52,3	2,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	6,2	6,8	6,9	-	22,8	20,0	62,7	56,7	9,6
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	6,3	6,8	7,0	-	20,5	26,6	67,2	60,0	10,7
N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	6,3	6,8	7,1	-	17,5	34,6	72,3	63,7	11,9

* ρ – расчетная, ϕ – фактическая.

Следовательно, для количественной оценки последствий от практической реализации решений, принимаемых в целях выращивания заданного количества продукции полеводства соответственно специализации сельхозпредприятий при обязательном воспроизводстве плодородия почвы, вполне пригодна нормативная база по связи урожайности с потреблением ресурсов посевами конкретных культур. Расчеты выполняются в следующей последовательности:

баланс влаги (влагооборот) в порядке чередования культур; ожидаемая продуктивность культур и севооборотов в энергетическом и натуральном выражении; определение потребности в средствах воспроизводства плодородия. При достигнутом уровне точности этот метод вполне пригоден для прогнозной оценки схем севооборотов и определения потребности в удобрительных средствах для воспроизводства плодородия.

Объективно ведущая информационная роль севооборота обусловлена его местом в функциональной иерархии элементов системы земледелия (рис.10).

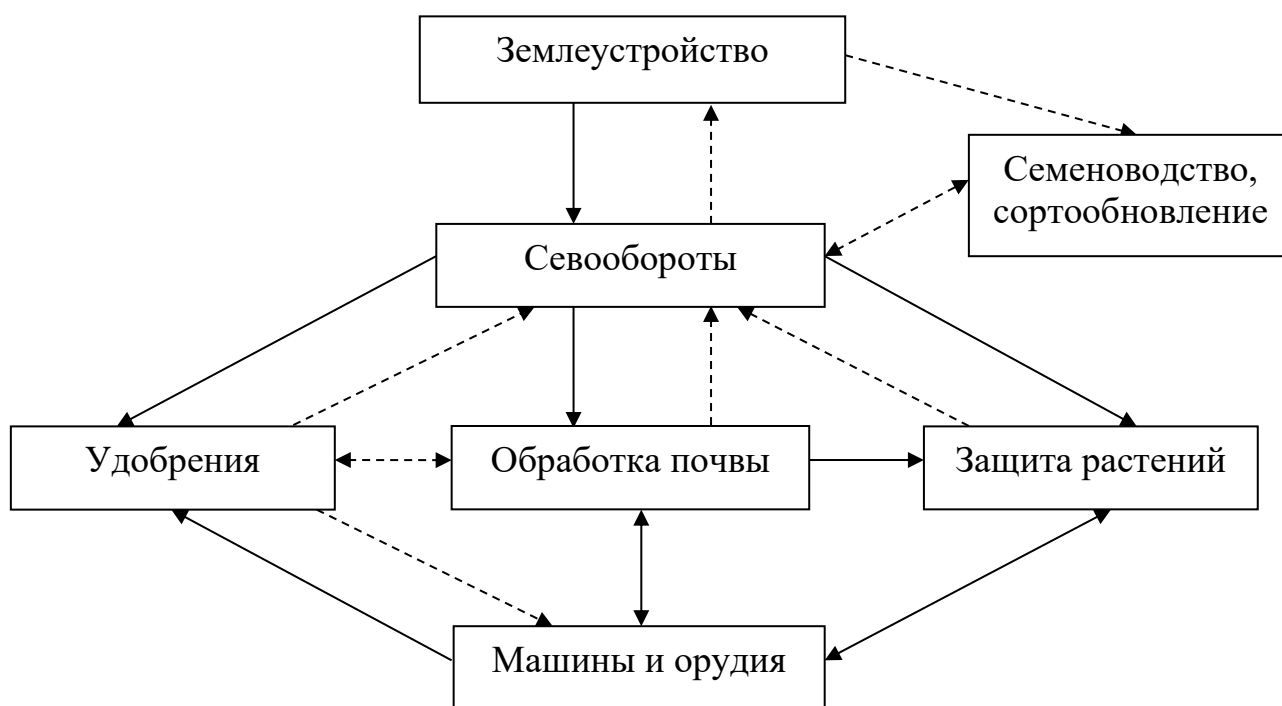


Рисунок 10. Функциональная иерархия элементов системы земледелия

Организация по результатам обследования агроландшафта пахотных земель в систему севооборотов является основой для разработки систем удобрения, обработки почвы и защиты растений, соответственно для составления карты засоренности полей и плана наблюдений за сельскохозяйственными вредителями. В плане экологизации производства существенно значимо наличие ротационных таблиц для каждого из севооборотов, так как накопление информации в процессе мониторинга фитосанитарного состояния в каждом конкретном поле обеспечивает принятие

наиболее целесообразных решений с позиций наименьшего воздействия на окружающую среду. Еще более это важно (добавляется экономический фактор) при корректировке норм минеральных удобрений на основе мониторинга влагозапасов в корнеобитаемом слое.

Целенаправленное развитие – это развитие управляемое, а любое управление в конечном счете сводится к принятию вполне определенного решения, выбор которого основывается на информации о состоянии управляемого объекта и знании его свойств. Оно предполагает возможность оценки возможных решений и действий по их реализации и по их соответствию целям управления. Цель управления в земледелии – высокопродуктивное использование пахотных земель одновременно с воспроизводством плодородия почвы и минимизацией негативных воздействий на окружающую среду. Систему процедур для достижения этой цели обсудим позже.

Глава 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ И СИСТЕМЫ СЕВООБОРОТОВ

В названии настоящей главы на первом месте стоит именно структура посевных площадей, так как всегда неизбежно нахождение компромисса между получением необходимого количества продукции полеводства и наилучшим размещением культур в севообороте. Поэтому на вопрос, «а какой севооборот наилучший?» имеется однозначный ответ «который в наибольшей степени соответствует специализации конкретного сельхозпредприятия».

Специализация и концентрация производства одновременно является следствием НТП и условием для его реализации. Преимущества специализации обусловлены более рациональной эксплуатацией технических средств, использованием средств автоматизации, эффективных ресурсосберегающих технологий и большими возможностями их совершенствования в целях повышения качества продукции. Выбор специализации в природоохранном отношении осложнен возможностями формирования необходимой структуры посевных площадей в связи с ограничениями по освоению АЛСЗ, в которой использование пашни в севооборотах разного вида дифференцируется с учетом почвозащитной способности культур и степени эрозионной опасности в конкретных элементах агроландшафта.

*Берегите, храните как зеницу ока
землю.*

В. И. Ленин

4.1 Дифференцированное использование пашни

Наиболее реальный путь повышения продуктивности пашни без значительного увеличения затрат – оптимальное насыщение севооборотов высокопродуктивными в конкретных условиях культурами. При хорошей влагообеспеченности и недостатке тепла по мере насыщения севооборотов

зерновыми за счет сокращения доли многолетних трав увеличивается сбор зерна, но уменьшается общая продуктивность пашни. В благоприятных по тепловлагообеспеченности условиях увеличение доли зерновых (за счет расширения посевов кукурузы на зерно) обеспечивает одновременный рост общей и зерновой продуктивности. В засушливых условиях степных регионов насыщение севооборотов зерновыми мало сказывается на общей и приводит к росту зерновой продуктивности, особенно при оптимальной доле чистых паров.

При общности задач земледелия пути, способы и средства их реализации неодинаковы. Этим и определяются различия в зональности земледелия в разрезе регионов. Эффективные в одних случаях приемы оказываются бесполезными в других, ведут к отрицательным результатам в третьих, а в четвертых нет условий для их применения. Например, неодинаково влияния различных почвоохранных мер на реализацию биоклиматического потенциала и плодородие почв по агроклиматическим зонам. Поэтому для обеспечения высокой продуктивности пашни в сочетании с сохранностью почвенного плодородия схемы севооборотов необходимо формировать на различной агротехнической основе. Так, необходимость в чистых и возможность вводить сидеральные пары определяются влагообеспеченностью; не везде имеются условия для возделывания промежуточных культур по причине засухи или короткой продолжительности теплого периода; снегонакопление в лесной зоне ведет к отрицательным последствиям из-за переувлажнения почвы; на устранение последнего направлена система обработки почвы в указанной зоне, в то время как в остальных – на сбережение и накопление влаги.

Разница в условиях предопределяет различие способов использования пашни и воспроизводства почвенного плодородия, а следовательно неодинаковый набор средств и приемов для решения этих задач применительно к конкретным элементам ландшафта. Основой для адаптации состава и чередования культур в севооборотах и разработки для них систем удобрений, обработки почвы, защиты растений и других элементов системы земледелия является дифференциация использования пашни в системе разных видов

севооборотов. Осуществляться она должна по четырем основным признакам: 1) эрозионная опасность и степень деградации почв; 2) плодородие почвы; 3) теплообеспеченность; 4) инфраструктура и система управления хозяйством.

Организационная, то есть связанная с землеустройством, сторона севооборотов должна обеспечивать возможность для проявления всех положительных эффектов от чередования культур. Опасность негативного её влияния на построение севооборотов имеется при формальном разделении пашни как самоцели по всем четырем названным признакам. Поэтому дифференциация должна основываться на неизбежности или целесообразности, вследствие чего в каждом природно-сельскохозяйственном регионе есть первостепенные для этой цели показатели характеристики элементов агроландшафта. Так, она неизбежна в связи с допустимой интенсивностью использования пашни (повсеместно при беспокойном рельефе) и почвенными условиями (в первую очередь гидрология и механический состав почв, их кислотность и засоленность); целесообразность разделения по теплообеспеченности (обусловлено крутизной и экспозицией склона) уменьшается по мере уменьшения широты местности, а дифференциация в связи с сочетанием организационных и природных условий нужна не в каждом хозяйстве.

Учет экологических и технологических условий предусматривает также выделение (при необходимости) лучших земель для введения на них специальных (например, овощных, табачных) и узкоспециализированных (например, картофельных на почвах легкого механического состава) севооборотов. На эрозионно-опасных землях обязательны почвозащитные севообороты.

4.1.1 Дифференциация с учетом рельефа

Выделение пашни в севообороты разной интенсивности с учетом эрозионной опасности и почвозащитной способности культур и их реакции на эродированность почвы является обязательной и первоочередной задачей, так

как расход почвенного плодородия за счет эрозии может значительно превышать необходимый для формирования урожая.

Защищенность почвы полевыми культурами, в конечном счете, определяется полнотой проективного покрытия почвы, которое зависит от массы растений и изменяется по фазам их развития. По обобщенной оценке, среднее за май-сентябрь проективное покрытие многолетних трав, озимых и пропашных культур соответственно равно 100, 48 и 51 %. Если в среднем проективное покрытие пропашных такое же, как и озимых, то в мае оно в 8, в июне в 4, в июле в 2 раза меньше. Многолетние травы и озимые культуры защищают почву и в период весеннего снеготаяния.

Усредненная за периоды вегетации почвозащитная способность сельскохозяйственных культур следующая (в %): черный пар – 0,0; свекла, кукуруза – 15,0; картофель, подсолнечник – 25,0; яровые зерновые – 50,0; горох, вико-овес, смесь кукурузы с горохом и викой – 65,0; озимые зерновые – 83,0; мн. травы 1 года пользования – 92,0; мн. травы 2 года пользования – 97,0; мн. травы 3 года пользования – 99,0.

Культурные растения по-разному реагируют на снижение плодородия почвы вообще и в том числе на обусловленное эрозией. Снижение урожайности основных полевых культур на почвах разной степени эродированности относительно не смытой почвы показано в таблице 18. Наибольшее оно у пропашных культур, наименьшее – у многолетних трав, а зерновые колосовые занимают промежуточное положение.

Взаимувязка задач эффективного использования природного потенциала, воспроизводства плодородия почв и защиты их от разрушения при формировании структуры посевных площадей вполне реальна при соблюдении принципа дифференцированного использования пашни. В его основу положены: 1) факт усиления эрозионной опасности по мере увеличения крутизны склона; 2) неодинаковая почвозащитная способность полевых культур и различная их реакция на степень эродированности почвы; 3) нежелательность размещения пропашных культур на крутых склонах так же по

технологическим соображениям, так как здесь нарушается прямолинейность рядков при посеве из-за чего во время обработок подрезаются культурные растения, а при уборке увеличиваются потери урожая.

Таблица 18

Урожайность сельскохозяйственных культур на почвах разной степени эродированности, в % к несмытой почве

Наименование культур	Степень эродированности почвы		
	слабая	средняя	сильная
Озимая пшеница	85-90	50-60	30-35
Озимая рожь	85-90	55-60	35-40
Яровая пшеница	70-80	40-50	15-20
Ячмень (яровой)	80-85	45-55	30-40
Овес	80-85	55-60	30-45
Кукуруза	80-85	60-70	15-25
Горох, вика	85-95	60-70	50-60
Сахарная свекла, картофель	80-90	30-40	10-15
Подсолнечник	70-80	40-50	20-30
Вико-овес	85-90	65-70	35-45
Суданская трава	80-90	55-60	30-40
Многолетние трав	90-95	85-90	60-75

Практическая реализация указанного принципа заключается в том, что под интенсивное использование можно отводить пашню, представленную не смытыми и слабосмытыми черноземами, темно-каштановыми и темно-серыми лесными почвами крутизной до 3°; серыми, светло-серыми лесными и каштановыми почвами на склонах до 2°; под умеренное использование на указанных почвах выделяются пахотные земли соответственно на склонах 3...5 и 2...4 градусов. На черноземах легкого механического состава, особенно при совместном проявлении водной и ветровой эрозии, интенсивное использование пашни следует ограничивать склонами до 2, умеренное – до 4 градусов.

Весьма интенсивное использование пашни возможно на не смытых почвах крутизной до 3°. Здесь допустимо возделывание всех без исключения сельскохозяйственных культур и размещение черного пара, применение интенсивных систем обработки почвы. На пашне интенсивного использования

крутизной более 1° в технологию возделывания культур включаются отдельные противоэрозионные приемы обработки почвы и другие агротехнические почвозащитные мероприятия. На пашне умеренного использования в севооборотах уменьшается доля пропашных культур, вводится более эффективные почвозащитные мероприятия. На пашне ограниченного использования вводятся специальные почвозащитные севообороты, а наиболее эрозионноопасные участки отводятся под постоянное залужение. Такой подход в использовании пахотных земель позволяет без дополнительных затрат повысить их продуктивность на 10...15 % и уменьшить эрозию почв минимум в два раза.

Задача защиты почв от эрозии и дефляция не самоцель систем севооборотов и стоит в ряду таких задач как более полное использование биоклиматического потенциала и удовлетворение потребностей народного хозяйства в отдельных видах продукции. Согласовать их позволяют агротехнические приемы усиления почвозащитной способности севооборотов. Наряду с включением многолетних трав и рекомендованным расположением линейных рубежей противоэрозионная роль севооборотов значительно повышается за счет: 1) посева промежуточных культур; 2) полосного размещения культур при сочетании параллельной с контурно-параллельной или последней с контурно-буферной организацией территории; 3) формирование кулис и буферных полос.

Усиление почвозащитной, следовательно экологической, эффективности севооборотов при включении в них промежуточных культур, используемых на корм или сидерат, достигается как непосредственно за счёт удлинения периода, в течение которого почва находится под защитой растительного покрова, так и за счет улучшения физических свойств почвы благодаря дополнительному поступлению в нее органического вещества. В качестве озимых промежуточных культур целесообразно использовать озимую рожь (повсеместно) и смесь ее с озимой викой; озимый рапс, перко, сурепицу, зимующий горох (на Северном Кавказе); в качестве поукосных – рапс яровой,

горчицу белую, редьку масличную, смесь суданской травы и сорго; в качестве пожнивных – горох укосный, смесь подсолнечника с кукурузой и горохом, горчицу белую и ее смеси с бобовыми, викоовсяную смесь. В сидеральных парах наиболее эффективен посев на зеленое удобрение люпина (в лесной зоне на почвах легкого гранулометрического состава), гороха (в лесостепи), горчицы белой (в свекловичных севооборотах лесостепи), донника или суданской травы (в регионах, специализирующихся на производстве яровой пшеницы).

Полосное размещение культур в условиях степи позволяет превратить обычные полевые и кормовые севообороты в почвозащитные. Сущность приема заключается в том, что четные полосы занимают эрозионно-устойчивыми культурами, а нечетные неустойчивыми или чистым паром. Через год (если возделываются только однолетние культуры) или несколько лет (при наличии в севообороте многолетних трав) полосы меняются местами. С увеличением крутизны склона следует уменьшить ширину полос, при чередовании однолетних культур сплошного сева с пропашными ширина полос должна быть более узкая, чем при чередовании однолетних культур с многолетними травами (табл. 19).

Таблица 19

Зависимость ширины полос от чередующихся видов культур и крутизны склона [75]

Крутизна склона, град.	Рекомендуемая ширина полос (м)	
	чередование полос мн. трав с однолетними культурами	чередование полос однолетних культур сплошного сева с пропашными
1-3	100-80	80-60
3-5	80-60	60-40
5-8	60-40	40-20

Основой экологически устойчивых агроландшафтов является организация территории водосборов. От того, насколько, верно, в противоэрозионном отношении проведено землеустройство малых и больших водосборов, насколько правильно запроектированы все линейные элементы территории и размещены поля севооборотов, выбраны направления работы

машинотракторных агрегатов, настолько устойчивей и благоприятней будет экологическая обстановка благодаря меньшему загрязнению водоёмов агрохимикатами вследствие существенного снижения водной эрозии почв.

Наиболее целесообразным является сочетание прямолинейного проектирования и размещение всех линейных элементов территории на равнине, с прямолинейно-контурным на склонах крутизной до 3°, контурно-параллельным на слабосмытых склонах до 5° и контурно-буферной внутриполевой организацией территории почвозащитных севооборотов на средне- и сильносмытых почвах крутизной более 5°.

4.1.2 Дифференциация в связи с агроэкологическими требованиями культур

Агроэкологические требования полевых культур необходимо учитывать в целях более полной реализации их генетического потенциала и, как следствие, высокопродуктивного и рационального использования почвенно-климатических ресурсов за счет обоснованного размещения растений по элементам агроландшафта и в севооборотах.

Повышение за счет оптимизации севооборотов и структуры посевных площадей адаптивного потенциала растениеводства, возможность обеспечения устойчивой продуктивности земледелия за счет приспособления к неблагоприятным факторам и эффективного им противодействия, базируется на всестороннем учете агроэкологических требований культурных растений. Их видовое разнообразие позволяет конструировать устойчивые высокопродуктивные агроэкосистемы с оптимальной структурой сельскохозяйственных угодий в агроландшафте посредством адаптивного землеустройства и дифференцированного использования природных ресурсов продуктивности. Видовое разнообразие позволяет без нарушения севооборотов маневрировать со структурой посевных площадей в целях достижения максимального эффекта или смягчения отрицательных последствий в связи с

колебаниями погоды при выполнении следующих требований: 1) обеспечение гарантированного ежегодного размещения озимых; 2) соблюдение сроков возврата сахарной свеклы, подсолнечника, рапса; 3) стабилизации оптимальных площадей под многолетними травами. Эродированные почвы из-за одновременного ухудшения агрохимических и агрофизических свойств в меньшей степени отвечают требованиям культурных растений. При этом наибольшее снижение урожайности наблюдается у сахарной свеклы и картофеля; значительное – у сои, кукурузы и других пропашных; наименьшее – у многолетних трав (в три раза меньше по сравнению со свеклой). Зерновые, зернобобовые и крупяные сплошного способа посева занимают промежуточное положение. Из них отрицательная реакция на эродированность меньше у ржи и овса по сравнению с пшеницей и ячменем, у вики и гречихи в сравнении соответственно с горохом и просом (показано ранее в табл. 18). Этот факт автоматически учитывается при дифференциации пашни по крутизне склонов.

В гораздо большей степени агроэкологические требования культурных растений приходится учитывать в связи со свойствами расположенных на ровной пашне почв: содержанием гумуса и элементов минерального питания; кислотностью; гранулометрическим составом, степенью эродированности. Перечисленные свойства различаются как в зональном плане (агрорландшафтные районы), так и в связи с особенностями рельефа. Наиболее отрицательно на почвенную кислотность реагируют сахарная свекла, люцерна, эспарцет; чувствительны к ней пшеница, ячмень, горох, соя, кукуруза, подсолнечник, рапс, клевер; малочувствительны картофель, рожь, овес, просо, гречиха растут в интервале рН от 4,5 до 7,5. Для картофеля требуются почвы легкого гранулометрического состава; для других пропашных и зерновых культур объемная масса почвы должна быть в пределах соответственно 1,0...1,2 и 1,1...1,3 г/см³; стержнекорневые растения (люцерна, донник, рапс) развиваются и при большей плотности (табл. 20).

Таблица 20

Соответствие* почвенных условий** требованиям полевых культур

Культуры	Реакция почвенного раствора					
	слабокислая - слабощелочная			кислая- сильнокислая		
	гранулометрический состав			гранулометрический состав		
	Т***	С***	Л***	Т	С	Л
Озимая пшеница	++	+++	+++	+	+	+
Ячмень	++	+++	+++	+	+	+
Озимая рожь	++	+++	+++	++	++	++
Тритикале	++	+++	+++	+	++	++
Яровая пшеница	++	+++	+++	+	+	+
Овес	++	+++	+++	++	++	++
Кукуруза на зерно	++	+++	+++	+	+	+
Горох	++	+++	+++	+	+	+
Вика	++	+++	+++	+	+	+
Соя	+	+++	+++	0	+	+
Гречиха	++	+++	+++	++	++	++
Просо	++	+++	+++	++	++	++
Сахарная свекла	++	+++	+++	0	0	0
Картофель	0	+	+++	0	++	+++
Подсолнечник	+++	+++	+++	+	+	0
Рапс	+++	+++	+++	+	+	+
Суданская трава	+++	+++	+++	+	+	+
Кукуруза на силос	++	+++	+++	+	++	+
Люпин	+	++	+++	+	++	+++
Клевер	++	+++	+++	+	++	++
Эспарцет	+	+++	+++	0	0	0
Люцерна	+++	+++	+++	0	0	0
Донник	+++	+++	+++	+	+	+
Кострец	++	+++	+++	++	++	++
Тимофеевка	++	+++	+++	++	++	++

* Соответствие: +++ – полное; ++ – вполне удовлетворительное; + – низкое, 0 – неприемлемое;

** гумусовый горизонт > 30 см;

*** Т – тяжелый, С – средний, Л – легкий.

Основополагающий, наряду с почвозащитной направленностью, принцип выделения пашни в конкретный севооборот на этапе землеустройства – соответствие почв агроэкологическим требованиям культур, входящих в схему севооборота согласно его хозяйственному назначению. [Другими словами, входящие в поля севооборотов участки (соответственно включенные в конкретный севооборот поля) должны быть близкими в разной степени по пригодности для ряда культур]. Указанную пригодность целесообразно устанавливать в процессе составления по результатам обследования паспортной

ведомости участков (оцифровка предварительная или по прежнему землеустройству) и полей. Образец последней (после окончательного согласования землеустроительных и агрономических компонент проекта) приведен в приложении А.

Для сближения хозяйственных и экологических целей в сельскохозяйственном производстве типичную для основных земледельческих зон специализацию следует корректировать с учетом особенностей агроландшафта конкретных сельхозпредприятий для рационализации производства продукции на основе эффективного использования природно-ресурсного потенциала, территориального планирования, формирования рынков сбыта и соответствующего развития транспортно-логистической инфраструктуры, минимизации издержек и максимизации прибыли.

Как показывают обобщенные данные стационарных опытов, в районах с хорошей влагообеспеченностью и недостатком тепла по мере насыщения севооборотов зерновыми увеличивается сбор зерна, однако при этом уменьшается общая продуктивность севооборотов. Это связано не только с увеличением доли культур одной группы (зерновых колосовых), но и с уменьшением доли трав и пропашных, высокая потенциальная продуктивность которых реализуется только при хорошей влагообеспеченности.

В севооборотах кукурузосеющих (на зерно) регионов увеличение доли зерновых в севообороте за счет кукурузы устраняет недостаток повторных посевов колосовых, а сама кукуруза хорошо переносит повторное размещение. Поэтому имеет место одновременный рост общей и зерновой продуктивности севооборотов. В более увлажненных кукурузосеющих регионах, совпадающих с зоной свеклосеяния, расширение посевов кукурузы за счет сахарной свеклы приводит даже к некоторому уменьшению продуктивности севооборотов.

В засушливых условиях многолетние травы и большинство пропашных культур малопродуктивны. Поэтому здесь увеличение доли зерновых за счет сокращения пропашных и многолетних трав мало сказывается на общей продуктивности и обеспечивает рост зерновой продуктивности севооборотов. При

этом максимальный сбор зерна и кормовых единиц часто определяется оптимальной долей черного пара в севообороте.

В относительно благоприятных для земледелия зонах одновременное насыщение севооборотов высокопродуктивными культурами (например, озимой пшеницей, сахарной свеклой и кукурузой) не способствует достижению желаемого результата из-за плохого размещения по предшественникам. В то же время оптимальное насыщение этими культурами специализированных (озимопшеничных, свекловичных, кукурузных) севооборотов обеспечивает высокий выход необходимой продукции и эффективное использование пашни.

Специализация производства сельскохозяйственной продукции предполагает соответствующую ей структуру посевных площадей, которая в АЛСЗ формируется с учетом допустимых пределов насыщения севооборотов конкретными культурами, средообразующим влиянием последних (в первую очередь почвозащитной способностью) и пригодностью для них конкретных участков пашни.

Выбор специализации (например, только по организационно-экономическим соображениям) не может быть произвольным (рис. 11) и зависит от особенностей агроландшафта (рельефа территории, преобладающих почв и метеоусловий), а также внешних организационно-экономических условий (специализация природно-хозяйственных территориальных комплексов, расстояние до рынков сбыта).

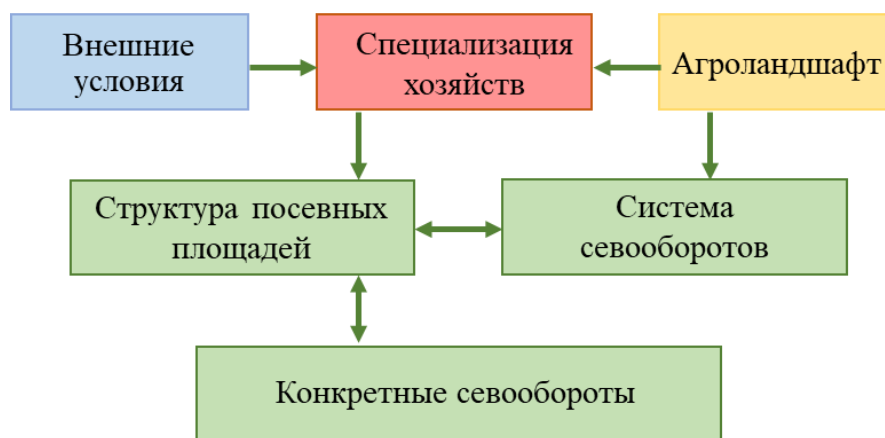


Рисунок 11. Детерминация связей в полеводстве

При установлении специализации сельхозпредприятий превентивным мероприятием сохранения почв в АЛСЗ является дифференцированное использование пашни в севооборотах разного вида.

Обоснование параметров и условий для выбора специализации следующее:

а) Учет размеров землепользования важен как в плане концентрации производства и его объемов, так и компромисса между экономическими целями и агротехническими требованиями. При малой его площади (примерно на уровне 500 га в мелких фермерских хозяйствах) продолжительность сроков возврата ряда культур не обеспечивает сезонной выработки на отдельные виды техники, которая со временем морально устаревает при необходимости платить за нее налог.

б) Зерновые и технические культуры возделываются на пашне, в связи с чем при выборе специализации важна ее доля в структуре землепользования. По мере увеличения доли пашни на склонах до 3 % уменьшаются агроэкологические ограничения по составу культур и расширяются возможности для выбора специализации. (При большой потребности в зеленых кормах и сене проблема может решаться за счет естественных кормовых угодий, продуктивность которых специальными мерами может быть приближена к продуктивности трав на пашне) [76].

г) Учет возможностей для кооперирования при выборе специализации в первую очередь важен для мелких фермерских хозяйств. Объединение части капитала при овощеводческой специализации позволяет осваивать современные технологии; способствует решению вопросов по транспортировке, хранению и переработке продукции. Кооперирование для эффективного использования дорогостоящей техники приемлемо также при выборе свекловодческой специализации малоземельными фермерскими хозяйствами, расположенными вблизи сахарных заводов.

д) Необходимость учета местоположения хозяйства относительно рынков сбыта связана с транспортными издержками. (Расчеты показывают, что свекловодческая специализация целесообразна при расположении не дальше 40-45 км от сахарных заводов и свеклоприемных пунктов, а производство картофеля следует концентрировать вблизи спиртзаводов). Расположение относительно рынков сбыта весьма значимо также при углубленной специализации на производстве молока.

Определение специализации именно полеводства обусловлено тем фактором, что структура посевных площадей и севообороты разрабатываются для пахотных земель, а на специализацию хозяйства существенно влияет соотношение между пашней и кормовыми угодьями. Обычно специализация хозяйства и специализация полеводства совпадают, но часто реальны и различия между ними при углубленной животноводческой специализации.

Типовые варианты установления специализации в условиях Центрального Черноземья по агроландшафтным и организационно-экономическим условиям приведены в приложении Б.

*Не от плана к полю, а от поля к плану.
Д. Е. Ванин*

Глава 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ, СХЕМ СЕВООБОРОТОВ И ИХ СИСТЕМ

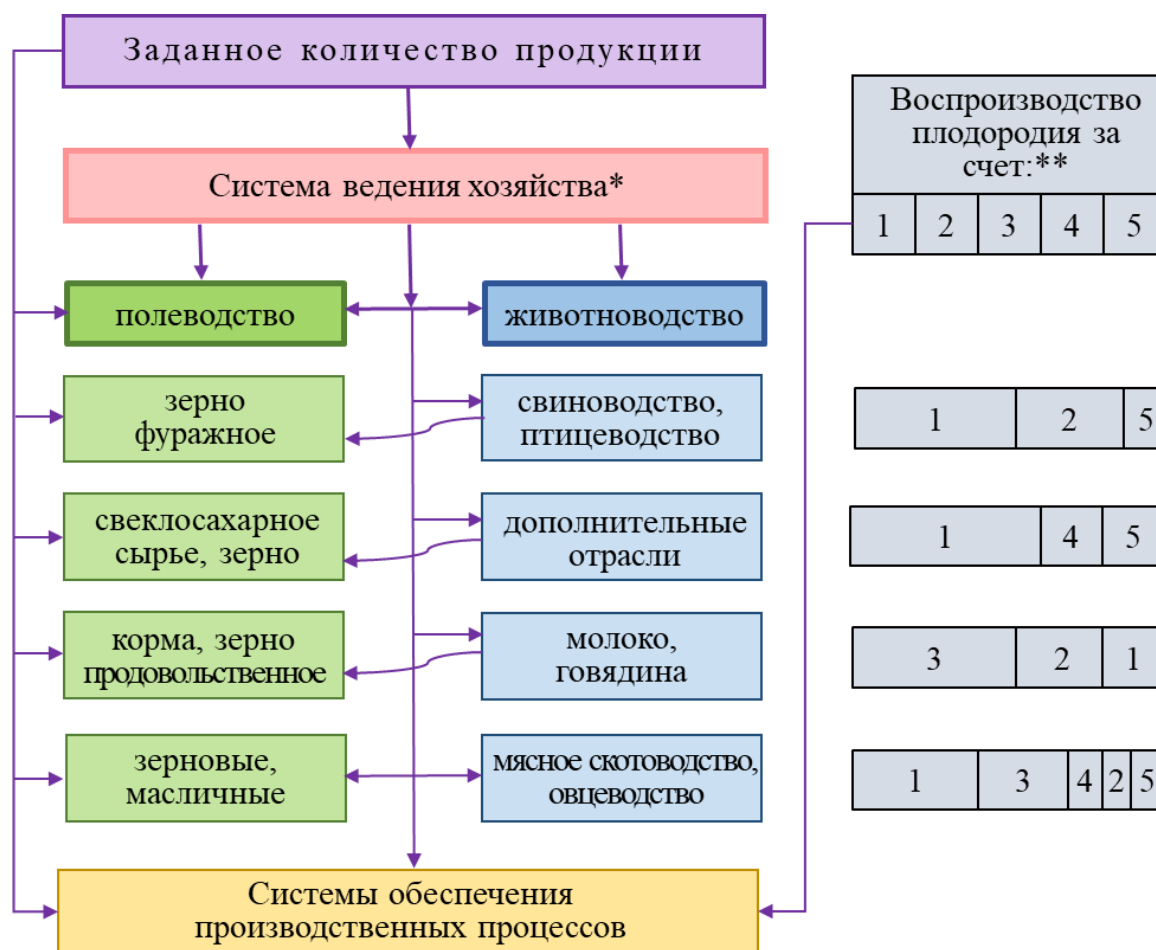
Практикуемая методология проектирования севооборотов и структуры посевных площадей не в полной мере обеспечивает назначение проектов как плановой и организационной основы производства в системах земледелия нового поколения, а также мало отражается на сближении хозяйственных и экологических целей. Для её трансформации применительно к адаптивно-ландшафтному земледелию необходимо: учитывать большее количество факторов, пересмотреть требования к проектам с позиций экологизации; задачу повышения продуктивности пашни решать комплементарно с воспроизводством плодородия; использовать новые методы и усовершенствовать традиционные; обновить алгоритм проектирования.

5.1 Принципиальные положения проектирования

Вынесенное в эпиграф этой главы замечание Героя Социалистического Труда, доктора экономических наук, профессора Д. Е. Ванина акцентирует внимание сельхозпроизводителей на обязательность выбора направлений углубления специализации хозяйств в соответствии с принципами адаптивно-ландшафтного земледелия и формировании структуры посевных площадей в соответствии с агроландшафтными условиями.

Специфика получения необходимого (согласно специализации) количества продукции соответствует классу задач, не допускающих изменения только одного фактора за один раз, так как системный процесс достижения хозяйственных целей динамичен и внутренне связан, так что изменение одного фактора служит причиной изменения других (часто многих) факторов. Так, при изменении специализации изменяются: соотношение между реализуемой и используемой в хозяйстве продукцией полеводства, структура посевных

площадей и взаимосвязанная с ней система севооборотов, схемы конкретных севооборотов, объемы применения средств воспроизводства плодородия и соотношение между ними. Перечисленное демонстрируется рисунком 12, который отражает тот объективный факт, что система получения необходимой продукции есть система с согласованными детерминированными функциональными связями, которая обязательно должна быть тщательно организованной. Следовательно, это система с управлением, а для управления необходима возможность выбора, а для верного выбора необходима информация.



* Выделен общий порядок связей;

**1 – минеральные удобрения, 2 – навоз, 3 – многолетние бобовые травы, 4 – сидераты, 5 – нетоварная часть урожая.

Рисунок 12. Детерминация функциональных связей при производстве сельскохозяйственной продукции

Получение информации для формирования системы севооборотов обеспечивает всестороннее обследование агроландшафта, а для разработки схем конкретных севооборотов проведение многолетних стационарных опытов, заложенных в пространстве и времени всеми вариантами. Сохранность информации обеспечивают обобщенная в обустройстве территории пашни система севооборотов и книга истории полей. Схемы севооборотов и их ротационные таблицы отображают «модель необходимого состояния», сравнение которого с фактическим состоянием при одновременном учете неуправляемых внешних воздействий (колебание цен и метеоусловий) является основанием для принятий решений (передача информации) при разработке систем удобрения, обработки почвы, защиты растений и других элементов систем земледелия, а также их корректировок.

Проектирование (планирование по определению) присуще (с разной степенью сложности и соответствия термину «проект») всем исторически известным системам земледелия, развивавшимся в ходе познания естественно-научных основ агрономии и роста производительных сил общества (приложение В). При примитивных системах (характерно использование под посевы малой части пахотнопригодных земель и воспроизводство плодородия за счёт естественных процессов) планирование сводилось к учету наблюдательно установленных примерных сроков снижения эффективного плодородия и его восстановления естественным путём (по сути, менялись не культуры на полях, а участки пахотнопригодных земель под зерновые).

Широкие возможности для использования положительного эффекта от чередования культур обеспечило освоения (медленное и преимущественно в помещичьих хозяйствах) плодосменной системы земледелия, становлению которой в России способствовали исследования классиков отечественной агрономии [77–79]. [Следует различать термины принцип плодосмена (постоянную смену на поле культур, резко отличающихся по биологии и технологии возделывания) и плодосменный севооборот (обозначение в номенклатуре видов севооборота)]. Несмотря на преимущества плодосменной

системы до преобразования мелкотоварного аграрного сектора в колхозно-совхозное производство на большей части территории нашей страны преобладало зернопаровое земледелие. Проектирование севооборотов получило официальный статус в начале тридцатых годов двадцатого столетия: Постановление ЦК ВКП (б) и Совнаркома СССР от 29 сентября 1932 г. поручило Наркомзему СССР ввести во всех колхозах и совхозах севооборот «как одно из лучших средств повышения урожайности», в резолюции XVII съезда ВКП (б) предлагалось «повсеместно ввести правильные севообороты»; принятый в 1935 г. Устав сельскохозяйственной артели обязывал «повышать урожайность колхозных полей путем введения и соблюдения правильного севооборота» [цит. по 25].

Научную основу для проектирования конкретных севооборотов применительно к особенностям хозяйств составляют экспериментальные данные многолетних стационарных опытов, проводимых в конкретных земледельческих зонах. Сопутствующие исследования в этих опытах (изучение водного и питательного режимов почвы, фитосанитарного состояния посевов, аллелопатического взаимовлияния культурных растений, направленности микробиологических процессов и др.) способствовали значительному расширению познания естественнонаучных причин, обуславливающих объективную необходимость и экономическую привлекательность (чередование культур беззатратно, издержки только на проектирование) севооборотов.

Объективная необходимость перехода к АЛСЗ, обусловленная целым рядом негативных и позитивных причин (многие из них взаимосвязаны), стала очевидной в последней трети двадцатого столетия [80–82]. Адаптивная интенсификация земледелия является составной частью мер по разрешению глобальной экологической проблемы, определяющей необходимость сбалансированного развития человеческого общества.

Изменение целевых установок и подходов при проектировании севооборотов и СПП в АЛСЗ показано в таблице 21.

**Принципиальные различия в проектировании севооборотов и структуры
посевных площадей для зональных и адаптивно-ландшафтных
систем земледелия**

Компоненты проекта	Реализация в системах земледелия	
	зональные	адаптивно ландшафтные
Основания для разработки проектов	перспективный план развития хозяйства по организационно-экономическим соображениям	перспективный план с учетом рельефа и расположения пахотных земель по элементам агроландшафта
Степень использования пахотнопригодных земель	сложившаяся с поправкой на трансформацию	обеспечивающая стабильность агроландшафта
Формирование систем севооборотов	согласно внутрихозяйственной системе управления	с учетом расположения пахотных земель конкретных агроэкологических групп на территории хозяйства
Форма территориальной организации пахотных земель	клеточно-прямоугольная	сочетание способов проектирования линейных рубежей
Установление направлений углубления специализации	соотношение пашни и естественных кормовых угодий, расстояние до рынков сбыта	соотношение угодий, доля и количество пашни интенсивного использования, расстояние до рынков сбыта, возможности межхозяйственной кооперации
Разработка схем конкретных севооборотов	модификация примерных рекомендованных схем	выбор лучшего варианта из возможных
Ориентиры для формирования структуры посевных площадей	план, специализация	обусловленная агроландшафтом (в силу экологических ограничений) интенсивность использования пашни

Это обосновано следующим: а) планирование без учета условий агроландшафта недостаточно в плане достижения желаемых результатов, а его реализация при напряженном рельефе ведет к отрицательным экологическим последствиям (планировать необходимо «от поля к плану, а не от плана к полю»); б) характерное для экстенсивных систем земледелия увеличение распаханности территории (в зональных системах трансформация угодий также часто заключалась в увеличении площади пашни [83]), сменилось во многих случаях его уменьшением [84] в целях стабилизации агроландшафтов за счет

корректировки соотношения угодий; в) экологической приоритетностью распределения пашни на конкретные агроэкологические группы по интенсивности на территории сельхозпредприятия сравнительно с организационно-управленческими соображениями; г) влиянием пространственного расположения линейных рубежей на сток воды и сопряженный с ним смыв почвы; д) усложнение процедуры выбора направлений углубления специализации (важно в плане освоения достижений НТП) следует из соответствия ей (специализации) структуры посевных площадей, формирование которой ограничено особенностями агроландшафта.

В силу перечисленного, структура посевных площадей как агроэкономическое понятие (в зональных системах земледелия) объективно трансформировалось в эколого-агроэкономическую категорию в АЛСЗ.

Вышеизложенное с учетом фактического состояния по решению проблемы явилось основанием для разработки концепции методологии проектирования севооборотов и структуры посевных площадей, выраженное в следующих принципах и требованиях:

принципы проектирования:

- ✓ система севооборотов – конструктивная (центральная при заметной доле пашни в структуре угодий) часть АЛСЗ;
- ✓ использование пашни в АЛСЗ дифференцируется в системе севооборотов соответственно её агроэкологическим группам, а также в севооборотах разного вида и хозяйственного назначения;
- ✓ различное (при общности задач) функциональное назначение организации территории (обеспечение информационной основы для рационального использования земли и принятия мер по предотвращению их деградации) и севооборотов как способа управления вещественно-энергетическими потоками в системе «почва – посевы – атмосфера»;
- ✓ планирование структуры посевных площадей «от поля», т.е. с учетом качества и количества (существенно при выборе специализации) пахотных земель;

требования к проектированию:

✓ проектировать севообороты и структуру посевных площадей следует только после землеустройства агроландшафта в целом – выделения пахотных земель с разделением их на агроэкологические группы и составления плана трансформации угодий;

✓ структура посевных площадей должна соответствовать производственному направлению сельхозпредприятия;

✓ выбор специализации по чисто экономическим соображениям ограничен допустимой интенсивностью использования пашни, пределами насыщения севооборотов отдельными культурами, пригодностью почв для конкретных культурных растений;

✓ разрабатывать систему и схемы севооборотов следует после окончательного решения по установлению специализации;

✓ чередования и сроки возврата культур должны соответствовать научно обоснованным рекомендациям, а размеры полей быть по возможности равновеликими;

✓ выносить проект организации территории пашни в натуру и приступать к освоению намеченных севооборотов следует после многокритериальной оценки возможных вариантов.

В соответствии с изложенной концепцией задача проектирования севооборотов и структуры посевных площадей существенно усложняется, что обуславливает увеличение количества необходимых методов.

5.2 Системность методологии проектирования

Применение ряда методов предопределено необходимостью решения конкретных задач в целях последовательного получения необходимых результатов (промежуточных и конечного) проектирования.

Перечень, иерархия и назначение обязательных методов, необходимых для составления качественных проектов, показаны в таблице 22.

Совокупность, содержание и последовательность применения методов в процессе проектирования

Методы	Решаемые задачи	Результаты
Экспериментальный	Выявление научных основ чередования культур	Обоснованные рекомендации по построению севооборотов
Экспертные:	Анализ особенностей агроландшафта	Установление доли и качества пашни в землепользовании
нормативно – ограничительный	Дифференциация пахотных земель по интенсивности использования	Варианты территориальной организации системы севооборотов
сравнительно – аналитический	Учет отклика культур на эродированность, физические и физико-химические свойства почв	Дополнительные ограничения по возделыванию отдельных культур для уточнения территориальной организации
нормативно – ограничительный	Выявление возможных вариантов специализации	Установление специализации хозяйства
Эколого-экономико-математическое моделирование	Оптимизация структуры посевных площадей	Базовый вариант оптимальной структуры посевных площадей
Информационно-энергетический. Балансовый	Разработка схем конкретных севооборотов и формирование их систем	Базовый вариант системы и схем севооборотов
Нормативно-технологический	Взаимоувязка системы севооборотов со структурой посевных площадей	Окончательный вариант схем севооборотов, их системы и структуры посевных площадей

Экспериментальный метод, основу которого составляют методически правильно проведенные многолетние стационарные опыты, обязателен в плане получения сведений о месте, сроках возврата культур и их доли в севооборотах. Результаты сопутствующих исследований, выполненных в этих опытах, не только объясняют различную эффективность изучаемых вариантов, но и на уровне теоретических обобщений позволяют устранить «пробелы» в эксперименте, связанные с объективной невозможностью охватывать в опытах все возможные варианты чередований.

Экспертный анализ результатов обследования агроландшафта, полученных соответствующими стандартными методами [85], является базисом для выделения пахотных земель в структуре землепользования и последующего

разделения пашни на категории по интенсивности использования. Последнее необходимо в целях предотвращения развития эрозии и обоснованно увеличением эрозионной опасности по мере увеличения крутизны склонов и неодинаковой почвозащитной способностью культур, убывающей в направлении: многолетние травы, культуры сплошного способа посева, пропашные, чистый пар. Снижение урожайности из-за эродированности почв убывает в обратном направлении. В связи с этим следует соблюдать следующие ограничения: на пашне крутизной 2...3 – 4...5 недопустимы пары и посевы сахарной свеклы, а возделывание пропашных возможно только при полосном размещении с многолетними травами и культурами сплошного способа посева; на пашне более 4...5° необходимо вводить травопольные почвозащитные севообороты.

Указанные ограничительные нормативы, с учетом сведений о наличии почв с труднорегулируемыми [86] свойствами с позиций соответствия требованиям отдельных культур (например, картофель относительно хорошо переносит кислотность и отрицательно реагирует на повышение плотности почвы, а для сахарной свеклы предпочтительна нейтральная реакция среды при оптимальных агрофизических показателях), обеспечивают адекватный выбор направлений углубления специализации.

Эколого-экономико-математическое моделирование позволяет преодолеть объективную невозможность постановки строгих экспериментов по системам севооборотов и оптимизировать базовый вариант структуры посевных площадей посредством соблюдения ограничений касательно интенсивности использования пашни и рекомендаций по построению севооборотов при учете внутрихозяйственных потребностей землепользователей [87].

При выборе наиболее эффективного направления использования пахотных земель необходимо учитывать одновременно такое количество взаимодействующих факторов, которые не в состоянии рассмотреть даже хорошо подготовленный, высококвалифицированный специалист. В связи с

этим для решения подобных задач применяется линейное программирование (табл. 23), представляющее собой весьма надежный математический метод нахождения оптимальных решений именно для тех случаев, когда возможно много различных решений и существует большое число ограничений для достижения поставленной цели.

Таблица 23

Методы экономико-математического моделирования структуры посевных площадей в порядке их развития

№№ методов* [источник]	Независимые переменные в задаче линейного программирования	Реализация севооборотных требований	Учет агроландшафтных факторов
1 [88]	соотношение отраслей в хозяйстве, дополненное примерными схемами севооборотов	ограничения для исключения монокультуры	качество земель
2 [89]	площадь пашни под севооборотами разного вида	приближенная к достаточной	не просматривается
3 [90]	урожайность культур в севооборотах разного вида	то же	то же
4 [91]	урожайность в связи с предшественниками	недостаточная	- -
5 [92]	предварительно сформированные условно-переменные с учетом дифференцированного использования пашни, допустимого насыщения севооборотов конкретными культурами, воспроизводства плодородия	достаточная	эрозионная опасность, соответствий условий элементов ландшафта требованиям культур
6 [93]	то же с дополнениями для сбалансирования отраслей «растениеводство – животноводство»	то же	то же

* Пронумеровано в связи с отсутствием четко определенных названий методов.

Обозначенные в этой таблице методы под номерами 2-4 приемлемы в регионах с небольшим набором культур и относительной равномерностью почвенного покрова при спокойном рельефе.

Для Центрального Черноземья характерно наличие широкого набора полевых культур с существенными различиями даже в пределах их групп в потенциальной продуктивности, биологии и агротехнике, требованиях к месту

в севообороте. Соответственно значительно расширяется количество возможных чередований культур в севооборотах одного вида, а последнее значительно различаются по общей продуктивности и выходу отдельных видов продукции. Это часто усиливается особенностями рельефа, от которого зависят возможности формирования равновеликих полей и их количество в севооборотах. Следовательно, для относительно благоприятных земледельческих зон применение в качестве независимых переменных оптимизационной задачи примерных схем севооборотов и их видов, а тем более продуктивности культур в разных севооборотах, непригодно. В связи с этим разработанные позже методы моделирования СПП обеспечивают оптимизацию путем введения в экономико-математическую модель специальных ограничений как по наилучшему месту и оптимальному удельному весу высокопродуктивных культур в севооборотах, так и расширенному учету особенностей агроландшафта.

Неизбежна дальнейшая доводка базового варианта структуры посевных площадей в целях ее органической взаимоувязки с системой севооборотов. При выборе схем севооборотов на пашне интенсивного (также умеренного) использования полезен информационно-энергетический анализ [55] в сочетании с расчетами балансов (воды, элементов минерального питания, гумуса). Основан он на закономерностях в потреблении посевами ресурсов урожайности, обеспечивающих формирование севооборотов по результатам количественной оценки возможных вариантов

Фактическая эффективность севооборотов является следствием согласованности между всеми элементами системы земледелия конкретных хозяйств [94], что обуславливает неизбежность нормативно-технологического метода на заключительном этапе проектирования. [Так, структура посевных площадей, обоснованная с позиций наиболее полного использования почвенно-климатических ресурсов в севооборотах, может оказаться в течение неопределенного времени «неподъемной» из-за несоблюдения технологий вследствие недостаточной технической вооруженности по причине

неблагоприятного финансового состояния некоторых сельхозпредприятий]. Поэтому не исключена вероятность пересмотра отдельных решений при разработке окончательного варианта системы севооборотов в тех случаях, когда они не обусловлены нормативными ограничениями. На этапе взаимоувязки системы севооборотов со структурой посевных площадей целесообразно учитывать «коэффициенты» предшественников (относительное их влияние на последующие культуры) при обеспечении озимых надежными предшественниками.

Следовательно, для разработки системы севооборотов и оптимальной структуры посевных площадей при освоении сельхозпредприятиями адаптивно-ландшафтной системы земледелия следует практиковать сочетание обязательных методов, основой для согласованной взаимоувязки которых являются особенности агроландшафта, решающим образом влияющие на выбор специализации. Последующая нисходящая методология проектирования с уточнением принятых ранее решений при условии воспроизводства плодородия обеспечивают комплементарность хозяйственных и природоохранных задач.

5.3 Алгоритм проектирования системы севооборотов

Алгоритм проектирования состоит из обязательных этапов, содержащих в своей структуре задачи и шаги. Принципиальная укрупненная схема порядка проектирования представлена на рисунке 13.

Первые два этапа (определение специализации и территориальная организация) в наименьшей степени зависят от остальных, так как исходными данными для принятия решения непосредственно являются результаты анализа агроландшафтных условий. Разработка же схем конкретных севооборотов и их системы определяется как организацией территории пашни, так и ориентировочной структурой посевных площадей соответственно специализации сельхозпредприятий.



Рисунок 13. Алгоритм проектирования системы севооборотов (С.С.) в АЛСЗ

Обязательное определение возможной специализации именно полеводства (не специализации хозяйства) обусловлено тем фактом, что структура посевных площадей и севообороты разрабатываются для пахотных земель, а на специализацию хозяйства существенно влияет соотношение между пашней и кормовыми угодьями. Обычно специализация хозяйства и специализация полеводства совпадают, но вполне реальны и различия между ними. Так, в крупнотоварных спецхозах по производству свинины и продукции птицеводства полеводство специализировано на получение фуражного зерна

при большой площади землепользования, а при малой – на выращивании трав для витаминной подкормки; в хозяйствах с углубленной мясомолочной специализацией соотношение между пашней интенсивного, ограниченного и умеренного использования существенно влияет на структуру кормового клина, а размеры последнего на пашне могут быть незначительными при большой доле кормовых угодий.

Второй этап – организационная (территориальная) составляющая системы севооборотов – относительно независим (как и первый) от остальных этапов: 1) структура посевных площадей, как и специализация, не может быть произвольной, т.к. возможность ее формирования обуславливают особенности агроландшафта; 2) в адаптивно-ландшафтном земледелии землеустроительная сторона не приспособливается к заранее установленной схеме севооборота.

Схемы севооборотов разрабатываются на 4-м этапе, вводным для которого являются данные блока «землеустройства» по территориальной организации системы севооборотов и ориентировочная структура посевных площадей (результат этапа 3).

Результаты 4-го этапа, как и предыдущего, остаются предварительными и вводными для этапа взаимоувязки системы севооборотов и структуры посевных площадей. Первая задача 5-го этапа – сопоставить площади под культурами в системе севооборотов с ориентировочной структурой посевных площадей включает следующие шаги: Шаг 1. Подсчитать структуру посевных площадей согласно системе севооборотов. Шаг 2. Составить ведомость расхождений между структурами посевных площадей (в системе севооборотов и ориентировочной). [Форма ведомости: 1) перечень культур (начинается с ведущих согласно специализации, завершается итоговой строкой); 2-3) площади, га (ориентировочная и согласно севооборотам); 4-5 отклонения («+», «-» к ориентировочной) в гектарах и процентах]. Шаг 3. Выявить культуры, расхождение площадей под которыми превышает (по модулю) 10 %, если расхождение < 10 % или превышение указанного ранее предела для ведущих культур со знаком «+», то разработанная система севооборотов и

соответствующая ей структура посевных площадей – конечный результат, иначе решить задачу 2.

Задача 2. Найти компромиссное решение по структуре посевных площадей и системе севооборотов. Шаг 1. Оценить влияние расхождений (отклонений) на эффективность полеводства с позиций специализации хозяйства. Если недобор продукции из-за уменьшения площади под ведущ(ей)ими культурами компенсируется другими культурами того же хозяйственного назначения, то – разработанная система севооборотов – конечный результат, иначе выполнить шаг 2. Шаг 2. Пересмотреть схемы севооборотов в направлении приближения к ориентировочной структуре посевных площадей. Если цель шага удастся, то измененная система севооборотов с соответствующей им структурой посевных площадей – конечный результат, иначе – решить задачу 3.

Задача 3. Повторить проектирование с пересмотром отдельных решений на предыдущих этапах. Шаг 1. Пересмотреть организацию территории отдельных севооборотов [В первую очередь короткоротационных на пашне интенсивного использования (по размеру и количеству полей)]. Шаг 2. Разработать схемы для севооборотов с измененным количеством (соответственно размерами) полей в направлении минимизации расхождений.

В логической последовательности проектирования АЛСЗ для конкретных сельскохозяйственных предприятий, разработке системы севооборотов и взаимосвязанной с ней структуры посевных площадей предшествует блок «землеустройство», решение которого в части организации территории пашни является вводным для этапа 4 (разработка схемы севооборотов), а основная цель этапа 2 – подготовка предложений (предварительного варианта) по территориальной организации системы севооборотов, учитывающих соответствие почвенных условий требованиям сельскохозяйственных растений (учитывается мощность гумусового горизонта, гидрология, реакция почвенного раствора, гранулометрический состав), допустимость (связана в основном с крутизной склонов) и приоритетность (определяется типом почв и

микрорельефом) возделывания культур. Для комплексного учета перечисленных свойств конкретных участков пашни в базе данных должны быть необходимые сведения.

После оценки участков пашни по пригодности разрабатывается предварительный вариант (варианты, если есть необходимость и возможность для этого) объединения полей в севообороты, который впоследствии уточняется при разработке схем конкретных севооборотов и оценке оптимальности системы земледелия. Необходимо стремиться, чтобы количество полей в севооборотах было по возможности кратным срокам возврата ведущих культур. При этом важно избегать формального учета нормативных параметров. Например, можно объединять (территориально) участки от 0⁰ до 3⁰ и от 3⁰ до 4...5⁰, если в хозяйстве (его подразделении) не планируется возделывание культур с низкой почвозащитной способностью. Однако, при этом необходимо полосное размещение культур и контурная организация территории пашни.

При выделении пашни под отдельные севообороты в первую очередь выбираются (при необходимости) участки под специальные (овощные, конопляные, табачные, бахчевые, почвозащитные и т.п.) и узкоспециализированные полевые севообороты. Затем принимаются во внимание особые организационные (например, необходимость прифермских севооборотов) и экологические (например, потребность в мелиоративных севооборотах) условия хозяйств.

Определение ориентировочной структуры посевных площадей (3-й этап) необходимо для разработки системы и схем конкретных севооборотов. Всесторонний учет комплекса факторов существенно облегчается благодаря моделированию структуры посевных площадей с помощью ЭВМ, которое осуществляется посредством хорошо апробированного в линейном программировании симплекс-метода.

Взаимоувязка системы севооборотов и структуры посевных площадей (5-этап) осуществляется в результате сопоставления площади под культурами в системе севооборотов с необходимой согласно со специализацией и

внутрихозяйственными потребностями; оценки влияния расхождений на эффективность полеводства с позицией специализации хозяйства; принятия комплексных решений.

Соответствия описанного алгоритма проектирования целям и задачам АЛСЗ обеспечено: 1) неукоснительным соблюдением требований к АЛСЗ на всех этапах; 2) одновременным учетом агроландшафтных и организационно-экономических условий на 1-м этапе; 3) учетом требований сельскохозяйственных растений и их средообразующей роли на 2-ом этапе; 4) 3-й этап – оптимизационный по своей сути, т.к. содержит целый ряд условий и ограничений агрономического, экономического и экологического порядка; 5) 4-этап предусматривает использование оптимальных схем севооборотов по комплексу критериев; 6) органической взаимоувязкой системы севооборотов и структуры посевных площадей; 7) уточнением и пересмотром предыдущих решений на последующих этапах. Последовательность применения отмеченных ранее обязательных методов (см. табл. 22) в процессе проектирования соответствует этому алгоритму.

5.4 Разработка схем севооборотов

Полученную в результате эколого-экономико-математического моделирования СПП сложно «вписать» в организованную под неё территорию пахотных земель по целому ряду причин: независимость землеустройства как самостоятельной составной части АЛСЗ, возможность формировать севообороты конкретного назначения с заданным количеством равновеликих полей, инфраструктуры сельхозпредприятий и другие. Поэтому, ориентированная на эту СПП система севооборотов (их конкретных схем) разрабатывается на основе возможных решений по блоку «землеустройство» (см. рис. 13).

Порядок разработки системы севооборотов: 1) почвозащитные на пашне ограниченного использования (подбираются примерные схемы); 2)

специальные с особыми требованиями к почвенному плодородию культурами; 3) соответствующие главной производственной отрасли на пашне интенсивного использования и умеренного использования применительно к специализации. Количество севооборотов на каждой из агроэкологических групп пашни зависит от размеров последней, а также (при необходимости) от структуры управления хозяйством.

Адекватный выбор лучших (из возможных по землеустройству) схем севооборотов на пашне интенсивного и умеренного использования обеспечивают информационно-энергетический и балансовый методы, основанные на следующих закономерностях: накопление энергии основными культурами полевых севооборотов, независимо от их потребности в тепле и влаге как факторах среды, одинаковым образом связано с суммарным (из почвы + осадки) расходом воды – при испарении посевами 1 мм воды, обеспеченном необходимым выносом элементов минерального питания (не менее 0,295 кг N и 0,125 кг P₂O₅, около 0,30 кг K₂O) во всей фитомассе (основная и побочная продукция, корни) запасается 0,567 ГДж энергии; суммарный расход воды зависит от влагообеспеченности, необходимой для завершения развития растений суммы температур (фактической при двулетнем, как у свеклы, развитии) и описывается одинаковым для полевых культур математическим выражением ($P = K_p M$), где K_p эмпирически установленный и теоретически обоснованный коэффициент; накопление энергии в товарной и побочной частях урожая (порознь и в сумме), независимо от требовательности культур к плодородию почвы, одинаковым образом связано с выносом минеральных элементов и равно (в ГДж) сумме выноса (в кг) K₂O с половиной выносов N и P₂O₅, умноженной на содержание сухого вещества (в долях единицы + 0,14).

Отмеченные закономерности при отсутствии чередований, запрещенных по причинам биологического порядка, позволяют рассчитывать баланс влаги в севооборотах, а затем урожайность культур (следовательно, и продуктивность пашни), хозяйственный вынос элементов минерального питания и баланс

гумуса. Значимость таких расчетов иллюстрируется следующим примером. В чередовании «озимая пшеница – кукуруза на зерно – сахарная свекла» (современные технологии это позволяют) в сравнении с традиционным «пшеница – свекла – кукуруза» урожайность свеклы оказалась без изменений, а кукурузы повысилась [95]. Последнего следовало ожидать на основании известного факта о сравнительно меньшем увлажнении нижней части корнеобитаемого слоя после глубоко иссушающих почву культур. Эффективность указанного нетрадиционного звена, согласно расчетам, должна быть значительно выше в лучших по теплообеспеченности (сравнительно с Волго-Вятским регионом) условиях, и оно может оказаться перспективным (после экспериментального подтверждения) в крупных ресурсообеспеченных сельхозпредприятиях. [Однако в Центральном Черноземье такое звено не может быть агротехнической основой свекловичного севооборота, так как велика вероятность некачественной основной обработки почвы при поздней уборке кукурузы на зерно].

Для выбора лучшей (из возможных) схем севооборота рассчитывается влагооборот в порядке чередования культур, затем по расходу воды рассчитывается урожайность, позволяющая определить продуктивность пашни в севообороте.

Для расчета баланса влаги в севооборотах (табл. 24) в строку «исходные значения» заносятся среднегодовалые значения $O_{сд}$ и усредненные по севообороту K_p . Во избежание в ходе последующих расчетов завышенных значений B_k величина B_v в указанной строке берется на уровне 2/3 наименьшей влагоемкости (в нашем случае 146 мм). Далее в строке «исходные значения» рассчитываются влагообеспеченность, расход воды и остаточные (B_k) влагозапасы. По последним и среднегодовым осадкам холодного периода рассчитываются весенние влагозапасы под первой культурой в схеме севооборота, а дальше расчеты ведутся в порядке чередования культур.

Пример расчета баланса влаги в севооборотах. Среднее за 2016-2022 гг.

Пример расчета баланса влаги в севооборотах

Схема севооборота	Вв, мм	Осл, мм	М, мм	Кр	Р, мм	Вк, мм
Зернопаропропашной севооборот						
Исходные значения	146	197	343	0,71	243	100
Чёрный пар	211	208	419	0,56	235	184
Озимая пшеница	253	196	449	0,72	323	123
Сахарная свекла	223	218	441	0,90	397	44
Кукуруза на силос	183	183	366	0,72	263	102
Ячмень	213	178	391	0,67	262	–
Сидеральный севооборот						
Исходные значения	146	175	321	0,72	231	90
Сидеральный пар	206	100	306	0,57	174	132
Озимая пшеница	227	196	423	0,72	305	118
Сахарная свекла	220	218	438	0,90	394	44
Кукуруза на силос	183	183	366	0,72	263	103
Ячмень	212	178	390	0,67	261	–
Плодосменный севооборот						
Исходные значения	146	190	336	0,71	238	98
Бобы на зерно	210	178	388	0,62	241	146
Озимая пшеница	234	196	430	0,72	310	120
Сахарная свекла	221	218	439	0,90	395	44
Люпин на зерно	183	178	361	0,62	224	138
Ячмень	230	178	408	0,67	273	–

Примечание – Вв – весенние влагозапасы ($Vв = 0,5Vк + 0,8Oсз$, где $Oсз$ – осадки холодного периода – 201 мм), $Oсл$ – осадки за период вегетации, М – влагообеспеченность ($Vв + Oсл$), Кр – коэффициент для расчета расхода воды посевами, Р – расход влаги за период вегетации ($P = Kр M$), Вк – неиспользованные влагозапасы ($Vк = M - P$).

По сумме весенних влагозапасов (Вв) с осадками за период вегетации ($Oсл$) определяется влагообеспеченность, произведение которой на коэффициент расхода воды (Кр) дает количество израсходованной воды, а умножением последнего на 0,567 ГДж/мм рассчитывается накопленная посевами энергия. Перерасчет последней в натуральное выражение урожайности выполняется умножением на $Kу$, возрастающий по мере увеличения норм азота в составе удобрений. Ежегодный прогноз урожайности по описанной процедуре расчетов во всех севооборотах на контрастных уровнях удобрений приведен в приложении Г. Отклонения прогнозной урожайности от

фактической из-за варьирования погодных условий по годам часто отличались от средних за период исследований (табл. 25).

Таблица 25

Сопоставление расчетной и фактической урожайности в севооборотах, т/га.
Среднее за 2016–2022 гг.

Схема севооборота	Влаго-обеспеченность, мм*	Расчетная (Ур1)	Фактическая (Уф1)	$\frac{Ур1 - Уф1}{Ур1}, \%$	Ур4	Уф4	$\frac{Ур4 - Уф4}{Ур4}, \%$
Зернопаропропашной севооборот							
Озимая пшеница после черного пара	449	4,58	4,61	-3,0	5,49	6,31	-14,9
Сахарная свекла	441	38,2	37,4	2,1	40,5	42,4	-4,6
Кукуруза на силос	366	28,3	30,3	-7,1	30,0	33,3	-11,0
Ячмень	391	3,36	2,94	12,5	3,80	3,53	7,1
Сидеральный севооборот							
Сидеральный пар	306	17,4	15,6	10,3	17,8	16,1	9,6
Озимая пшеница	423	4,32	4,60	-6,5	5,19	6,15	-18,5
Сахарная свекла	438	38,0	38,9	-2,3	40,2	44,7	-11,9
Кукуруза на силос	366	28,3	29,7	-4,9	29,8	32,7	-9,6
Ячмень	390	3,30	2,97	10,0	3,76	3,61	4,0
Плodosменный севооборот							
Бобы на зерно	388	2,46	2,56	-4,0	2,60	2,64	-1,5
Озимая пшеница	430	4,39	3,56	18,9	5,28	4,38	17,0
Сахарная свекла	439	38,1	35,7	6,3	40,3	40,4	-0,0
Люпин на зерно	361	2,28	2,42	-6,1	2,41	2,59	-7,5
Ячмень	408	3,71	3,35	9,7	4,14	4,07	1,7

* Весенние влагозапасы + осадки за период вегетации.

Примечание – У1 и У4 – соответственно без удобрений и наибольший уровень удобрений.

У озимой пшеницы после бобов на зерно заметное отклонение прогноза от факта связано с невозможностью получения своевременных и дружных всходов в предшествующий осенний период, что отрицательно сказывается на распределении корней по почвенному профилю и глубине их проникновения [96] и в результате влага и питательные вещества используются из меньшего

объема почвы, а заниженный результат прогнозной урожайности после сидерального пара на высокоудобренном фоне объясним за счет лучшего питательного режима.

На совпадении сравниваемых величин урожайности весьма существенно отражается и распределение летних осадков. Так, значительных расхождений между фактической и прогнозной урожайностью ячменя не наблюдалось за исключением 2020 года, когда расчетные значения оказались существенно завышенными. Такое несовпадение стало следствием стрессовой ситуации по влагообеспеченности ко времени формирования и налива зерна из-за синергизма двух негативных фактов – переувлажнение почвы весной (239...246 мм продуктивной влаги в слое 0...150 см при посеве) не способствовало развитию и глубокому проникновению корней при нарастании вегетативной массы, а генеративная стадия развития ячменя совпала с высокой напряженностью метеорологических факторов. В итоге, нехватка воды в зоне расположения основной части корневой системы отрицательно отразилась на реутилизации обменной энергии вегетативной массы для формирования урожая зерна.

Сильная зависимость урожайности и качества зерна ячменя от погоды объяснима коротким периодом его вегетации и относительно невысокой поглотительной способностью корневой системы, что подтверждается фактом значительного несовпадения фактической и прогнозной величины урожайности в 2020 г. Этот факт не порочит метод прогноза, но свидетельствует о малой практической значимости расчета доз удобрений непосредственно под ячмень в свекловичных севооборотах из-за невозможности предвидеть количество и распределение осадков в весенне-летний период, а также о необходимости учета продуктивности севооборотов.

В благоприятном для ячменя 2018 г. прирост его урожайности относительно средней за 2016-2022 гг. был в 1,6-1,8 раза больше увеличения продуктивности севооборотов (рис. 14), а в неблагоприятном 2020 г. продуктивность севооборотов также была больше средней за период

исследований, несмотря на снижение урожайности ячменя, которое на наиболее удобренном фоне было в 1,5...3,0 раза большим, в сравнении с контролем. Следовательно, влияние ячменя на продуктивность севооборотов оказалось меньшим сравнительно с влиянием культур с высоким генетическим потенциалом продуктивности (сахарная свекла, кукуруза, озимая пшеница) и меньшей, благодаря большей продолжительности вегетации, зависимостью от распределения летних осадков.

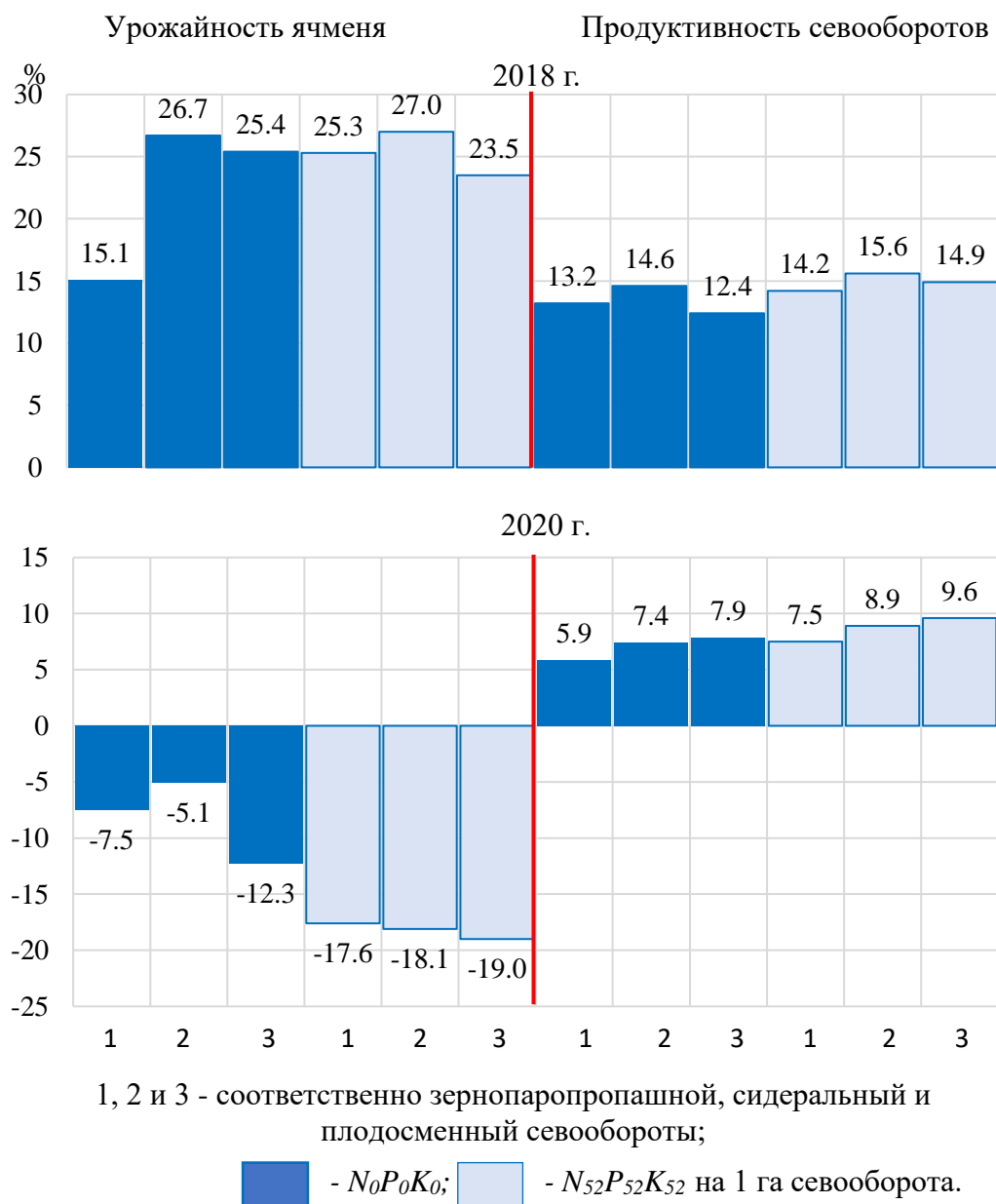


Рисунок 14. Отклонения урожайности ячменя и продуктивности севооборотов в зависимости от влагообеспеченности, в % к среднему за 2016-2022 гг.

Одновременно подтвержден положительный отклик ячменя на последствие высоких норм удобрений, применяемых в севооборотах с сахарной свеклой [97].

За годы исследований несовпадение между прогнозной и экспериментальной урожайностью вложились в три стандартные отклонения, то есть оказались под кривой нормального распределения (табл. 26), при котором внутри пределов двух стандартных отклонений находится 95,46 % значений случайной величины [98]. Так как в агрономических исследованиях пользуются вероятностью 0,95-95 % ($НСР_{05}$), а допустимая точность прогноза определяется точностью эксперимента, то описанный метод прогнозирования можно признать приемлемым для яровых зерновых и озимых после надежных предшественников.

Таблица 26

Статистическая оценка отклонения в годы исследования расчетных величин урожайности озимой пшеницы и ячменя

Культура	Статистическая надежность, %		
	$\pm \delta^*$	$\pm 2\delta$	$\pm 3\delta$
Озимая пшеница после: черного пара сидерального пара бобов на зерно	60,7	96,4	100,0
	53,6	96,4	100,0
	10,7	28,6	100,0
Ячмень после: кукурузы на силос люпин на зерно	75,0	96,4	100,0
	75,0	96,4	100,0

* δ – стандартное отклонение.

Выявленная взаимосвязь урожайности зерновых с нормами азота в удобрениях и влагообеспеченностью благодаря мониторингу последней позволяет не только предотвращать перерасход азота, избыток которого в почве порождает ряд экологических проблем [99, 100], но и целенаправленно влиять на формирование почвенного плодородия.

Если бы люди умели предсказывать погоду, им нечего было бы просить у бога.

М. В. Ломоносов

5.4.1 Обеспечение устойчивости производства зерна в севооборотах Центрального Черноземья

В условиях региона, благоприятных для большинства востребованных полевых культур, дальнейшее увеличение производства зерна реально только за счёт роста урожайности. Созданные к настоящему времени сорта зерновых культур отличаются выгодным сочетанием адаптивности и стрессоустойчивости с высокой урожайностью [101, 102]. Вместе с тем, реализация генетического потенциала их продуктивности часто ограничена недостаточной интенсивностью технологий [103] и неполной освоенностью адаптивно-ландшафтных систем земледелия [104], что не способствует ускоренному достижению целей, предусмотренных Долгосрочной стратегией развития зернового комплекса Российской Федерации (<http://docs.cntd.ru/document/560974985>).

Необходимость углубления адаптации технологий в земледелии обусловлена их усложнением из-за повышения уровня наукоёмкости и является закономерным следствием процесса развития. Системный подход при формировании технологий обеспечивает возможность для достижения положительного синергетического эффекта [105]. Севооборот является стержнем для согласования действий по высокоэффективному использованию природных и антропогенных факторов урожайности [25], чем и защищена актуальность углубления адаптации возделывания зерновых именно в севооборотах.

В адаптивно-ландшафтном земледелии производство зерна связано цепью последовательных адаптаций от землеустройства территории агроландшафта до выполнения всех элементов технологии по возделыванию зерновых культур. Адаптация к обобщенным в землеустройстве результатам

обследования агроландшафта способствует обоснованию установления специализации конкретных сельхозпредприятий, так как соответствующая ей структура посевных площадей формируется с учетом средообразующего влияния культур (в первую очередь почвозащитной способности) и пригодности для них конкретных участков пашни [106, 107]. Поскольку потребность в конкретных видах зерна predetermined специализацией хозяйств, то и схемы севооборотов разрабатываются для её обеспечения. Соответствие системы севооборотов необходимой структуре посевных площадей является основой для соблюдения схем конкретных севооборотов, адаптация к которым любой культуры в первую очередь заключается в размещении после хороших предшественников.

Устойчивость урожайности зерновых культур в первую очередь определяется стабильностью метеорологических условий, которые в период 2016-2022 гг. варьировали в значительных пределах. Количество осадков изменялось: за период влагонакопления (переход среднесуточной температуры через 5 °С в сторону понижения и повышения) от 191 мм (88 % нормы) до 300 мм (149 % нормы); в период «возобновление вегетации озимой пшеницы (всходы ячменя) – колошение» от 51 мм (54 % нормы) до 124 мм (132 % нормы); в период «колошение – полная спелость зерна» от 80 мм (54 % нормы) до 146 мм (98 % нормы). Ещё большими по годам были различия в условиях для получения своевременных и дружных всходов озимых – в 2,7 раза по количеству осадков за август – сентябрь и в 3,7 раза по гидротермическому коэффициенту (по Г. Т. Селянинову) за этот период. Содержание продуктивной влаги ко времени посева озимой пшеницы в слое 0–10 см варьировало от 10,4 до 15,9 мм после черного пара, от 9,9 до 15,5 мм после сидерального пара и от 9,2 до 13,3 мм после бобов.

В нашем опыте урожайность озимой пшеницы в среднем за семь лет после черного и сидерального паров на фоне одинаковых норм удобрений была в 1,3 раза большей, чем после бобов (табл. 27), что не противоречит другим исследованиям в условиях региона [108, 109]. Это преимущество несколько

уменьшилось в благоприятные и увеличилось в неблагоприятные для озимой пшеницы годы.

Таблица 27

Урожайность озимой пшеницы в опыте в зависимости от предшественников и удобрений, ц/га

Доза удобрений	Год							Среднее за 2016-2022 гг.
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
После черного пара								
N ₀ P ₀ K ₀	39,5	42,3	39,1	33,4	59,2	53,1	56,1	46,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	41,4	51,4	44,3	36,9	70,5	58,4	61,7	52,1
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	49,7	58,0	47,6	36,1	66,3	61,0	65,1	54,8
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	54,0	57,1	57,4	49,6	78,6	71,6	73,3	63,1
После сидерального пара								
N ₀ P ₀ K ₀	41,6	39,5	38,9	32,0	61,9	52,3	55,9	46,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	42,2	53,6	42,9	36,5	70,8	56,0	63,6	52,2
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	47,0	52,5	48,2	38,4	69,2	60,0	63,1	54,1
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	52,4	55,7	51,7	47,6	78,1	74,0	70,8	61,5
После бобов конских								
N ₀ P ₀ K ₀	32,2	38,1	28,1	25,2	51,7	36,1	37,5	35,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	36,0	43,0	31,7	25,8	50,9	39,6	46,1	39,0
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	39,1	43,1	33,6	25,9	57,2	43,2	47,8	41,4
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	41,0	47,3	33,4	28,4	58,6	44,7	53,0	43,8
Среднее по предшественникам								
N ₀ P ₀ K ₀	37,8	40,0	35,4	30,2	57,6	47,2	49,8	42,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	39,9	49,3	39,6	33,1	64,1	51,3	57,1	47,9
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	45,3	51,2	43,1	32,8	64,2	54,7	58,7	50,1
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	49,1	53,4	47,5	41,9	71,8	63,4	65,7	56,1
НСР ₀₅								
Фактор А предшественник	7,1	4,7	3,9	3,6	6,2	2,7	2,5	
Фактор В удобрение	3,8	4,9	3,2	3,1	6,3	2,3	3,4	

По мере повышения нормы удобрений урожайность озимой пшеницы ежегодно повышалась после всех предшественников, но в меньшей степени после бобов. Вместе с тем на положительном влиянии удобрений значительно отразились условия в конкретные годы. Так, относительная прибавка урожайности в наиболее удобренном варианте сравнительно с неудобренным составила после черного пара, сидерального пара и бобов соответственно: в среднем за годы исследований – 36,8 %, 33,6 и 23,0 %; в урожайном 2020 г. – 32,7 %, 26,2 и 13,3 %; в неблагоприятном 2019 г. – 48,5 %, 48,8 и 12,7 %.

Лучшим предшественником ячменя оказался люпин, прибавка урожайности после которого на всех фонах удобрений в среднем за период исследований превысила 12 % по сравнению с размещением ячменя после кукурузы на силос (рис. 15). В первую очередь это связано с высокой степенью биологизации севооборота, насыщенного на 40 % зернобобовыми культурами.

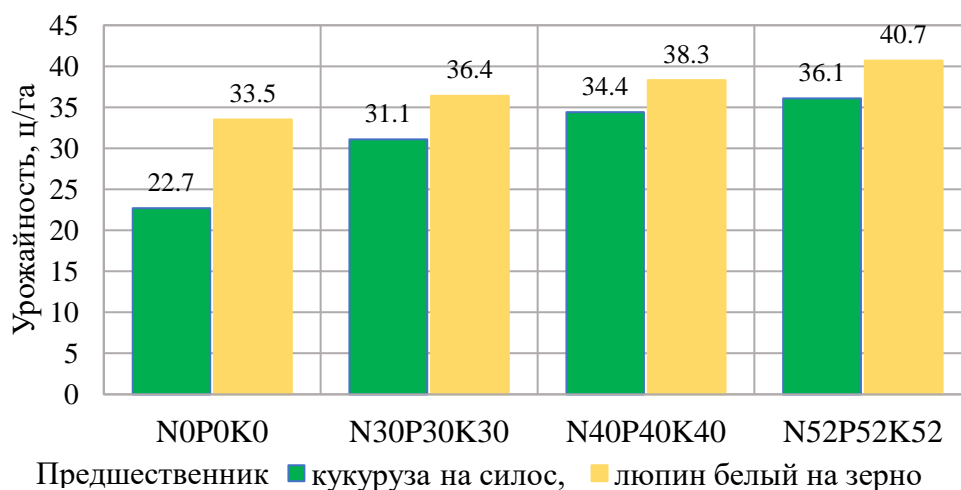


Рисунок 15. Урожайность ячменя в зависимости от предшественников и уровня удобрений в севооборотах, ц/га. Среднее за 2016-2022 гг.

Ячмень эффективно использовал последствие внесенных в севооборотах удобрений, что согласуется с исследованиями ФГБНУ «ВНИИСС им. А. А. Мазлумова» [97]. Повышение уровня удобрений в севооборотах ежегодно сопровождалось увеличением урожайности ячменя. В среднем за период исследований прибавка урожайности к контролю в наиболее удобренном варианте во всех севооборотах составила 20...22 %.

Результатами определения качества зерна озимой пшеницы подтверждена зависимость от предшественников, уровня азотного питания и метеорологических условий [110, 111]. В наибольшей степени влияние предшественников отразилось на содержании сырой клейковины, которое в среднем за период определения после паровых предшественников составило на контроле 24,4...24,8 % и было в 1,2 раза (в высокоурожайном 2020 г. в 1,3 раза) большим, чем после бобов. Таким же оказалось влияние фактора «предшественник» и на обеспеченность сырым протеином при несколько меньших различиях. По мере повышения уровня удобрений содержание

сырой клейковины увеличилось после всех предшественников, но относительная разница на наиболее удобренном фоне сравнительно с контролем не превысила 8...10 %.

Являясь нерегулируемым фактором, погодные условия оказывают наибольшее влияние на абсолютную величину урожайности. Среди характеризующих погоду показателей первостепенное значение для всех зерновых имеет количество осадков как за период влагонакопления (от осени к весне), так и за период вегетации. В отличие от температуры вода является не только условием, но и «строительным материалом» для создания урожая.

В 2018 г. (благоприятном для ячменя и неблагоприятном для озимой пшеницы) урожайность ячменя после кукурузы на силос была всего на 6 % меньше, чем озимой пшеницы по пару и в полтора раза большей после люпина в сравнении с пшеницей после бобов. Напротив, в благоприятном для пшеницы и неблагоприятном для ячменя 2020 г. превосходство озимой пшеницы над яровым ячменем было большим в 2,0...2,5 раза.

В условиях региона урожайность озимой пшеницы после надежных предшественников, как правило, выше, чем ячменя. В нашем стационарном опыте в среднем за семь лет урожайность пшеницы после черного и сидерального паров была в 1,6...1,8 раза большей, чем ячменя после кукурузы на силос. Это превышение некорректно объяснять только за счет разницы в генетическом потенциале продуктивности культур, так как превосходство пшеницы после бобов над ячменем после люпина оказалось лишь в интервале 6–8 %, что свидетельствует о необходимости более углубленной адаптации озимых к погоде, чем яровых зерновых.

Для созревания озимой пшеницы и ячменя требуется практически одинаковая сумма активных температур в весенне-летний период. Возобновление вегетации озимой пшеницы по многолетним наблюдениям наступает в конце первой декады – середине апреля, а всходы ячменя появляются в середине – конце третьей декады апреля. Поэтому образуется разница в количестве осадков за период вегетации. Кроме того, весенний

период развития озимых совпадает с более благоприятным температурным режимом, а быстрый период от весны к лету часто отрицательно отражается на развитии ячменя. Более весомый вклад в формирование урожайности озимой пшеницы обеспечивается за счет возможности использования воды и элементов минерального питания из большего объема почвы благодаря хорошему развитию корневой системы, зависящему от возможности получения своевременных и дружных всходов, т.е. от предпосевного увлажнения почвы. Если для формирования урожая ячменя наряду с весенними влагозапасами весьма существенное значение имеет количество и распределение осадков в период вегетации, то для озимой пшеницы решающее значение имеет также условия предшествующей осени (рис.16). При неблагоприятных условиях последней снижение урожайности относительно благоприятной осени в контрольном варианте составило 10,1 % после сидерального пара и 28,5 % после бобов, а при наибольшем уровне удобрений соответственно 4,2 и 26,0 %.

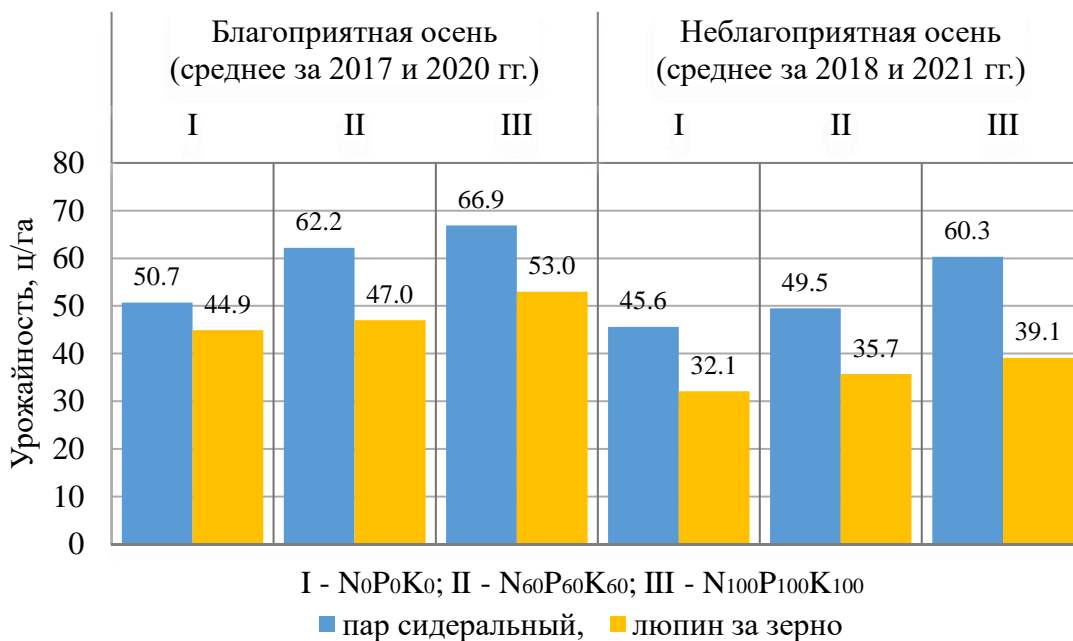


Рисунок 16. Влияние предшественников и удобрений на урожайность озимой пшеницы в зависимости от условий предшествующей осени, ц/га

С позиции обеспечения устойчивого производства зерна и экономически целесообразного использования минеральных удобрений первоочередное

значение имеет адаптация к нестабильности погоды. Наиболее действенным в этих целях мероприятием является размещение озимой пшеницы после надежных предшественников (табл. 28). Так, после паровых предшественников отклонение урожайности от средней за семь лет при наибольшем уровне удобрённости не превысили 5 % (в полтора раза меньше, чем в неудо­бренном варианте), а после бобов оно было в три раза большим. Кроме того, прибавка от удобрений после лучших предшественников в неблагоприятные годы была в два раза большей.

Таблица 28

Оценка совместного влияния на урожайность озимой пшеницы метеорологических условий, предшественников и удобрений

Предшественник, удобрённость севооборота ¹	Урожайность, ц/га			Прибавка от удобрений, %		
	благоприятные годы ² (среднее)	неблагоприятные годы ³ (среднее)	среднее за 2016-2022 гг.	благоприятные годы (среднее)	неблагоприятные годы (среднее)	среднее за 2016-2022 гг.
Пар черный: без удобрений <i>N₅₂P₅₂K₅₂</i>	49,3 65,8	41,9 59,5	46,1 63,1	33,5	42,0	36,9
Пар сидеральный: без удобрений <i>N₅₂P₅₂K₅₂</i>	49,7 64,3	41,1 57,8	46,0 61,5	29,4	40,6	33,7
Бобы конские: без удобрений <i>N₅₂P₅₂K₅₂</i>	39,9 50,0	29,8 35,5	35,6 43,8	20,2	19,1	23,0

Примечания

¹ В среднем на 1 га севооборота.

² Благоприятные годы – 2016, 2017, 2020, 2022 гг.

³ Неблагоприятные годы – 2018, 2019, 2021 гг.

Размещение озимых после надежных предшественников особо важно в решении задачи устойчивого производства зерна с учётом того факта, что ячмень в меньшей степени отзывчив на место в севообороте, а относительные прибавки его урожайности от уровня удобрений в нашем опыте меньше зависели от предшественника (табл. 29). Поэтому следует избегать возникновения ситуаций, обуславливающих необходимость пересева озимых яровыми зерновыми культурами.

Таблица 29

Оценка совместного влияния на урожайность ячменя метеорологический условий, предшественников и удобрений

Предшественник, удобренность севооборота ¹	Урожайность, ц/га			Прибавка от удобрений, %		
	благоприятные годы ² (среднее)	неблагоприятные годы ³ (среднее)	среднее за 2016-2022 гг.	благоприятные годы (среднее)	неблагоприятные годы (среднее)	среднее за 2016-2022 гг.
Кукуруза на силос: без удобрений	32,8	26,9	29,7			
<i>N₅₂P₅₂K₅₂</i>	39,4	32,5	36,1	20,1	20,8	21,5
Люпин белый: без удобрений	36,9	30,9	33,5			
<i>N₅₂P₅₂K₅₂</i>	45,3	37,4	40,7	22,8	21,0	21,5

Примечания

¹ В среднем на 1 га севооборота.

² Благоприятные годы – 2017, 2018, 2022 гг.

³ Неблагоприятные годы – 2016, 2019, 2020, 2021 гг.

Следовательно, основное направление в повышении устойчивости производства зерна заключается в организации высокопродуктивных севооборотов конкретного хозяйственного назначения с соответствующей им нормой удобрений при минимизации зависимости от изменчивости погоды в первую очередь за счет размещения озимых после надежных предшественников. Такое заключение обосновано следующими результатами: урожайность озимой пшеницы на одинаковых фонах удобрений в 1,3–1,4 раза больше по сравнению с урожайностью ячменя, а её зависимость от предшественников больше в 2,5 раза; размещение озимой пшеницы после паровых предшественников в сочетании с увеличением норм удобрений позволило снизить зависимость от погоды – в неблагоприятные годы разница в урожайности после них не превышала 6 % относительно средней за семь лет, а прибавка от удобрений оказалась в 2 раза большей, чем после бобов на зерно.

5.5 Экономико-экологическая оценка севооборотов и их систем

При обсуждении согласования путей получения необходимого количества продукции полеводства одновременно с сохранением плодородия почвы и его

воспроизводством оставался без внимания главнейший с позиций каждого сельхозтоваропроизводителя вопрос – экономическая эффективность хозяйственной деятельности.

Перечень наиболее часто употребляемых количественных показателей для оценки севооборотов представлен в таблице 30 (не приведена только «средняя урожайность», так как практическое значение она имеет только для специальных севооборотов). Все они объективны, имеют высокий уровень обобщения, взаимодополняемы, имеют преимущества и недостатки.

Необходимость в обобщающих показателях для оценки севооборотов обусловлена разнообразием возделываемых культур и их неодинаковым хозяйственным назначением. В качестве сопоставимых показателей для выражения величины общей продуктивности севооборотов приняты сбор кормовых и кормопротеиновых единиц, накопленная в урожае энергия, а также стоимость полученного урожая в расчете на 1 га севооборотной площади.

Таблица 30

Перечень и характеристика показателей оценки севооборотов

Наименование	Достоинства	Недостатки
1. Сбор конкретных видов продукции полеводства	Важен при формировании СПП в соответствии со специализацией хозяйств	Не позволяет судить об общей продуктивности севооборота
2. Сбор кормопротеиновых единиц 2.1 Накопленная энергия	Обобщающие показатели	Мало значит для оценки уровня углубления специализации
3. Стоимость продукции Затраты 3.1 в денежном выражении 3.2 в энергетическом выражении	Показатель продуктивности в денежном выражении обязательность достаточная устойчивость	Значим только при высокой товарности полеводства нестабильность из-за неустойчивости цен относительность
4. Условный чистый доход (прибыль)	Основа принятия решений по развитию хозяйства	Значим только при высокой товарности полеводства
5. Рентабельность	Соизмерение стоимостных показателей	Значимость снижается в животноводческих спецхозах

При оценке по сбору кормовых единиц недостаточно отражается качество и хозяйственное назначение продукции (все же полнее, чем по валовой и даже обменной энергии). Поэтому выход её в натуральном выражении обязательно следует принимать во внимание при выборе системы севооборотов.

Сбор кормопротеиновых единиц – показатель расчетный (полусумма кормовых единиц и удесятиренного выхода переваримого протеина), а поэтому в значительной мере искусственный. Кроме удобства, он не имеет больше преимуществ в сравнении с отдельным учетом названных величин.

Вполне уместно сопоставление в денежном выражении по стоимости продукции. Так как не на все её виды имеются устоявшиеся (сложившиеся) цены (обычно побочная часть урожая и многие виды корма для сельскохозяйственных животных), то и точность оценки зависит от выхода товарной продукции с 1 га севооборота.

Последнего недостатка не имеет выражение продуктивности в единицах энергии и работы в пересчете на 1 га севооборота, стимулом для широкого распространения которого явились, в первую очередь именно указанные ранее причины. Однако при нем обезличенным оказывается качество, так как энергосодержание сухого вещества в основной и побочной продукции конкретной культуры практически одинаково, в то время как количество кормовых единиц и протеина в них значительно различается, что сказывается на результатах оценок.

Сбор кормовых единиц и переваримого протеина остается важнейшей характеристикой продуктивности севооборотов. Неизбежно выражение последней через стоимость, которая необходима для последующих расчетов условно чистого дохода и уровня рентабельности. Энергетическая оценка ближе к законам природы, а поэтому независима от конъюнктурных хитросплетений и волюнтаристских амбиций; но в первую очередь она важна при последующей взаимоувязке экологических и хозяйственных целей, например для воспроизводства плодородия в связи с увеличением количества получаемой продукции.

Приоритетность показателей по оценке продуктивности севооборотов (несмотря на то, что все они необходимы в силу их специфики) меняется в зависимости от производственного направления конкретных сельхозпредприятий. При производстве свинины и продукции птицеводства первостепенным натуральным показателем продуктивности является сбор фуражного зерна, а главный обобщающий показатель при любой животноводческой специализации – сбор кормопротеиновых единиц. Последний мало значит при производстве сырья для текстильной и фармацевтической промышленности, где на первое место выходит стоимость продукции с 1 га пашни. В многоотраслевых хозяйствах целесообразно сопоставление в энергетическом выражении в целом, а в натуральном по выходу продовольственного зерна и технических культур.

Денежные затраты на 1 га севооборотной площади также являются оценочным показателем, а не только промежуточным результатом для последующих расчетов. Их практическое значение как критериев при формировании структуры посевных площадей состоит в возможности учета финансового состояния и технической вооруженности конкретных хозяйств, что является весомой гарантией освоения и соблюдения разработанной системы и схем конкретных севооборотов.

Обязателен учет расходов на воспроизводство почвенного плодородия (точнее обязательно последнее, а первое его следствие). Их доля в структуре затрат велика, но меняется в зависимости от состава культур. Потребность в антропогенных удобрительных средствах снижается по мере повышения уровня биологизации севооборотов. Поскольку способы воспроизводства плодородия определяются видом севооборотов и по экономическим соображениям влияют на формирование структуры посевных площадей, то и затраты на их реализацию желательно учитывать отдельно.

Изменение структуры севооборота, отражающееся на размещении высокопродуктивных культур, существенно сказывается на оценочных показателях продуктивности пашни (табл. 31).

Таблица 31

Продуктивность севооборотов в зависимости от уровня удобренности и степени биологизации. В среднем за 2016-2022 гг.

Внесено на 1 га севооборота	Сбор с 1 га севооборота			Отношение ПП к ОЕ, кг/ГДж
	зерна, ц	обменной энергии, ГДж	переваримого протеина (ПП), кг	
Пар чёрный, озимая пшеница, сахарная свекла, кукуруза на силос, ячмень				
N ₀ P ₀ K ₀	15,1	56,0	358,6	6,40
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	16,9	61,9	393,6	6,36
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	17,8	64,7	413,4	6,39
N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	19,7	68,8	442,4	6,43
Пар сидеральный*, озимая пшеница, сахарная свекла, кукуруза на силос, ячмень				
N ₀ P ₀ K ₀	15,2	58,3	367,0	6,30
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,1	63,5	403,0	6,35
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	17,7	65,7	418,0	6,36
N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	19,5	70,4	448,2	6,37
Бобы на зерно, озимая пшеница, сахарная свекла, люпин на зерно, ячмень				
N ₀ P ₀ K ₀	22,3	52,3	433,2	8,28
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	24,8	56,7	479,0	8,45
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	26,4	60,0	507,2	8,45
N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	28,0	63,7	537,0	8,43

*Сидеральная масса при расчете продуктивности не учитывалась.

При наличии 40 % пропашных в зернопаропропашном и сидеральном севооборотах выход обменной энергии был на 12 % большим, чем при насыщении зерновыми на 80 %. Однако, в плодосменном севообороте, насыщенном зерновыми и зернобобовыми, сбор зерна в полтора раза превысил зерновую продуктивность остальных севооборотов, что способствовало увеличению обеспеченности обменной энергии переваримым протеином на 29...32 %.

Повышение уровня удобренности обеспечило рост продуктивности севооборотов. Выход обменной энергии, сбор зерна и переваримого протеина в наиболее удобренном варианте всех севооборотов увеличился по сравнению с контролем соответственно на 21,2...21,6, 26,2...31,2 и 24,4...25,6 процентов. В севообороте, насыщенном зерновыми на 80 %, обеспеченность общей продуктивности переваримым протеином оказалась большей в 1,3...1,4 раза.

В соответствии с ростом продуктивности увеличивалась и стоимость полученной продукции при одновременном росте затрат (табл. 32). Во всех севооборотах нашего стационарного опыта повышение уровня удобренности способствовало улучшению экономических показателей. Так, стоимость продукции на наиболее удобренном фоне по сравнению с вариантом без минеральных удобрений увеличилась на 21...23 %, но из-за роста затрат на производство продукции на 25...27 %, увеличение прибыли составило 16...18 %. Это изменение соотношения между прибылью и затратами обусловило при большей удобренности некоторое уменьшение уровня рентабельности.

Экономика природы в земледелии и экономика в общепринятом понимании совпадают в необходимости восстановления средств производства, а поэтому затраты на воспроизводство плодородия почвы являются аналогом амортизационных отчислений. Затраты на воспроизводство плодородия уменьшались по мере повышения норм минерального удобрения. В биологизированных сидеральном (зеленое удобрение) и плодосменном (40 % зернобобовых) севооборотах в неудобренном варианте оказались соответственно на 14,9 % и 21,3 % меньшими по сравнению с зернопаропропашным севооборотом, а при наибольшем уровне удобрений в 1,5-1,6 раза. В итоге наиболее удобренный вариант севооборотов превзошел контрольный по экономико-экологическому эффекту в 1,6-1,8 раза, а по уровню экономико-экологической рентабельности в 1,3-1,5 раза.

Таблица 32

Экономико-экологическая эффективность севооборотов в зависимости от уровня удобренности, на 1 га в год. Среднее за 2016-2022 гг.

Показатель	Уровень удобренности в севообороте	Севооборот		
		зернопаро-пропашной	сидеральный	плодосменный
1	2	3	4	5
1. Стоимость продукции, тыс. руб.*	N ₀ P ₀ K ₀	40,9	42,2	47,8
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	44,6	45,9	52,3
	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	46,8	47,7	55,1
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	50,1	51,2	58,7

Продолжение таблицы 32

1	2	3	4	5
2. Затраты на производство продукции, тыс. руб.*	N ₀ P ₀ K ₀	24,1	26,0	29,4
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	26,7	28,5	32,8
	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	28,2	29,9	34,9
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	30,3	32,4	37,4
3. Прибыль от реализации продукции, тыс. руб.	N ₀ P ₀ K ₀	16,8	16,2	18,4
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,9	17,4	19,5
	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	18,6	17,8	20,2
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	19,8	18,8	21,3
4. Уровень рентабельности производства продукции, %	N ₀ P ₀ K ₀	69,7	62,3	62,7
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	67,0	61,1	59,5
	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	66,0	59,5	58,0
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	65,3	58,0	56,9
5. Дефицит гумуса в почве, т	N ₀ P ₀ K ₀	-1,88	-1,59	-1,49
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-1,47	-1,11	-0,99
	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	-1,34	-0,93	-0,89
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	-1,22	-0,82	-0,76
6. Стоимостная оценка дефицита гумуса, тыс. руб.**	N ₀ P ₀ K ₀	9,4	8,0	7,4
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	7,4	5,6	5,0
	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	6,7	4,7	4,4
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	6,1	4,1	3,8
7. Годовой экономико-экологический эффект, тыс. руб.***	N ₀ P ₀ K ₀	7,4	8,2	11,0
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	10,5	11,8	14,5
	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	11,9	13,1	15,8
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	13,7	14,7	17,5
8. Уровень экономико-экологической рентабельности, %	N ₀ P ₀ K ₀	30,7	31,5	37,4
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	39,3	41,4	44,2
	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	42,2	43,8	45,3
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	45,2	45,4	46,8

* по усредненным ценам за 2018-2020 гг.;

**через необходимое количество навоза;

***разница между прибылью и затратами на воспроизводство гумуса.

Таким образом, рассмотрение с учетом агроландшафтных ограничений нескольких возможных схем севооборотов для формирования структуры посевных площадей соответственно специализации сельхозпредприятий позволяет выбрать наиболее приемлемый с экономических позиций вариант.

Если вы будите работать для настоящего, то ваша работа выйдет ничтожной, надо работать, имея в виду только будущее.

А. П. Чехов

ГЛАВА 6. ПЕРСПЕКТИВЫ СБЛИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

При оценке перспектив и выборе путей для достижения цели неизбежен анализ текущего фактического положения дел.

6.1 Научный задел на перспективу

Теоретической первоосновой для практической реализации стратегии устойчивого развития сельского хозяйства являются научно обоснованные принципы и положения по становлению адаптивно-ландшафтного земледелия. При этом не менее значимо повышение урожайности за счет полноты и эффективности использования ресурсов. Важность количественных оценок для принятия решений подтверждается на примере преодоления энергетического кризиса 70-х годов прошлого столетия благодаря становлению информатики, которое обеспечило как прямую экономию ресурсов за счет регулирования технологических процессов, так и создание энергоресурсосберегающих технологий.

Земледелие – природопользовательная отрасль, эксплуатирующая одновременно антропогенные и экологические ресурсы. Использование первых регулируется экономическими механизмами, вторых – законами природы. Наличие закономерностей, связывающих накопление посевами энергии с потреблением воды, теплоты и элементов минерального питания стимулировало разработку концепции информационно-энергетического анализа в земледелии [12], содержащей следующие основные положения:

1) Продукционный процесс в конечном счете есть накопление энергии. Действия по его усилению связаны с затратами энергии. В энергетическом выражении можно сравнивать показатели, сравнение которых бессмысленно и невозможно в натуральном выражении.

2) Оценка системы только по энергии свидетельствует о ее способности к продукционному процессу, но не о его результате. Для того, чтобы потенциальная способность системы была реализована, она должна быть определенным образом организована, то есть упорядочена. Мерой организованности и упорядоченности системы является информация как функция ее состояния. Точный результат продукционного процесса может быть предсказан при одновременном учете энергии и информации, что и составляет основу информационно-энергетического подхода.

В отличие от энергии, которая как единая мера различных форм движения материи не созидаема и неуничтожима, информация появляется и исчезает в зависимости от состояния системы. Поэтому содержание энергии в растениях на любой стадии их развития не соответствует истинному количеству информации, а есть сумма последней с потребленной информацией, зафиксированной в энергии тканей, образующих инфраструктуру растения. Истинное количество информации в функционируемом растении соответствует количеству обменной энергии. В завершившем цикл развития растении информация прямо пропорциональна обменной энергии и сконцентрирована в органах семенного и вегетативного размножения.

3) Закономерность накопления энергии в фитомассе посевов в зависимости от расхода воды и последнего от тепловлагообеспеченности, а также накопленная энергия в основной и побочной продукции в зависимости от выноса элементов минерального питания являются следствием фундаментальных физических и биологических принципов. Эти закономерности можно зачислить в ранг научных фактов на следующих основаниях: 1) как фиксацию познания результатов научных исследований; 2) они «ассимилируются» существующей физической картиной мира; 3) не могут

быть опровергнуты правильно поставленным экспериментом при полном учете внешних эмпирических условий (уровень грунтовых вод, влажность фитомассы на момент определения, содержания NPK и другие).

4) При использовании информационно-энергетического подхода информации (как функция состояния системы) может быть выражена в терминах термодинамики и статистической физики, в частности, через энтропию и статистический вес, а также измерена количеством затраченной или полученной энергии.

5) Растение, посев как система растений (агрофитоценоз, фитоценоз) являются структурой, преобразующей тепловую энергию (наименее упорядоченный вид энергии) в химическую энергию растительных тканей. Принять считать, что в растениях накапливается энергия именно фотосинтетически активного спектра солнечной радиации (высокоупорядоченный вид энергии). О самом процессе достоверно известно, что благодаря ФАР (фотосинтетически активная радиация) имеет место упорядоченное движение электронов по электронно-транспортным цепям комплекса хлорофилла, клеточных мембран и ферментов. Одновременно накапливается часть энергии за счет фотофосфорилирования. Вместе с тем, значительная часть накопленной энергии есть результат теплового эффекта реакции фотосинтеза. Данное замечание сделано не с целью принизить или отрицать очевидное значение ФАР в фотосинтезе, а с целью подчеркнуть ее именно информационную роль. Поглощение ФАР является необходимым условием организованного и упорядоченного движения электронов, обеспечивающего цепь окислительно-восстановительных реакций. В данном случае находит отражение то обстоятельство, что получение информации связано с затратами энергии (в данном случае энергия ФАР), а увеличение информированности системы обеспечивает увеличение накопления энергии за счет потребления теплоты. Источником последней для растений, за исключением овощеводства в закрытом грунте, является энергия солнечного излучения. Однако, наличие теплоты в системе часто не является результатом

непосредственного поступления солнечной энергии на конкретную территорию, а зависит от ее переноса в процессе обмена больших масс воздуха и воды (реки и океанические течения). Поэтому наличие тепла – важнейшая характеристика системы, в которой осуществляется продукционный процесс. По оценке А. А. Уранова [9] «... световые условия фотосинтеза на широте Шпицбергена достаточны, чтобы растения могли производить столько же растительной массы, что и в средней части СССР. Малая продуктивность северной растительности объясняется не недостатком света, а недостатком тепла».

б) Важно подчеркнуть отсутствие противоречия в использовании термина «информация» как физической характеристики и в общепринятом понимании, если в последнем случае понимается набор сведений и знаний, необходимый для решения конкретной практической или познавательной задачи. В словарях первое определяется как «... количественная мера устранения неопределенности...». Действительно, динамичная система характеризуется целым рядом изменяющихся показателей, вследствие чего весьма затруднительно иметь полную информацию о ней. При этом из-за динамичности возникает объективная невозможность получить информацию о состоянии системы, невозможность, характеризующая саму систему, а не субъекта-наблюдателя» [112].

Недостаток информации о системе, с чем бы он ни был связан, проявляется (отражается) в изменении у нее тепловых свойств. Приход солнечной радиации – характеристика внешнего воздействия на систему и результат этого воздействия определяется в первую очередь не величиной воздействия, а состоянием системы. Так, если поверхность земли покрыта снегом или льдом, отражение солнечного света будет максимальным и поэтому теплоотдача поверхности и температура приземного слоя воздуха изменится меньше, чем при поступлении такого же количества солнечной энергии на непокрытую (снегом, растениями, их остатками) почву. Если последняя влажная – превращение электромагнитного излучения в тепло будет большим (высокая теплоемкость воды), а повышение температуры меньшим (минус

теплота испарения) по сравнению с сухой почвой. Состояние растительного покрова в решающей степени влияет и на отражение солнечного света, и на поглощение ФАР, и на испарение воды, что в конечном счете сказывается на изменении теплоотдачи с поверхности и температуре. Отношение первого ко второму есть энтропия, по которой и определяется информация. Последняя, при рассмотрении ее изменений параллельно с динамикой вещества (вода, элементы минерального питания) позволяет судить о накоплении посевами энергии.

Мерой устранения неопределенности выступает информация (как физическая характеристика) и в соотношениях между энергией и питательными веществами. В живом растении динамичность биохимических и физиологических процессов очень велика и для их полного описания требуется много показателей, а прежде всего следует познать их суть и место в системе превращений. Равновесная (вырожденная) система, в отличие от динамичной характеризуется существенно меньшим числом параметров, которым отвечает огромное число (\mathcal{C}) различных микросостояний системы, а ее энтропия достигает максимума и выражается формулой $S = k \ln \mathcal{C}$ (k = постоянная Больцмана). Поэтому, чем больше величина \mathcal{C} , тем меньшим объемом сведений о микросостояниях в растении мы располагаем и энтропию можно считать мерой неполноты информации.

7) «Процесс получения и использования информации – пишет Н. Винер – является процессом нашего приспособления к случайностям внешней среды и нашей жизнедеятельности в этой среде» [цит. по 113]. Все приемы и мероприятия в земледелии и растениеводстве: структура посевных площадей и севообороты; система обработки почвы и удобрений, защиты растений; селекция; сортосмена и сортообновление; комплекс почвозащитных мер; оптимизация машинно-тракторного парка; совершение организационной системы хозяйства и другие – в конечном счете направлены на повышение информированности системы земледелия. Достигается это путем противодействия энтропийной направленности природных процессов (чередование культур, обработка почвы и защита растений, защита почв от эрозии, сортообновление), получения

дополнительной информации в целях увеличить накопление энергии (организация территории, структура посевных площадей и севообороты, густота растений и конструкция посевов, удобрение почвы и оптимизация питания растений, селекция и сортомена, интродукция растений) и управления (чередование культур, организационно-экономические меры).

Конкретизируем указанные выше направления повышения информированности. Природа есть самоорганизующаяся система и этой самоорганизации приходится противодействовать. Чтобы получить необходимый вид растениеводческой продукции, а не энергию фитомассы вообще, необходимо создавать условия для получения высоких урожаев конкретной культуры; ценные признаки сорта утрачиваются со временем и приходится обновлять репродукцию семян; вода течет в наиболее вероятном направлении (сверху вниз), следствием чего является смыв и размыв почвы.

В замкнутой системе затраты энергии на получение информации равны последней, то есть полезный результат не достигается. Растение, а также система «почва – посев – припосевной и внутрипосевной слои воздуха» – системы незамкнутые. Поглощение большого количества информации в виде ФАР позволяет, при обеспечении посевов водой и питательными веществами, преобразовать больше тепловой энергии в энергию химических связей. При этом следует стремиться, чтобы энергетическая «цена» полученной энергии, в том числе информации в виде обменной энергии (наиболее ценной части урожая) была по возможности меньшей. Для этого необходима информация о системе в виде сведений и знаний. Получить последнюю можно только в результате воздействия на систему, свойства которой при этом меняются в зависимости от величины воздействия. Так, применение отвальной вспашки на больших территориях при освоении целинных земель позволило получить достаточно убедительную и надежную информацию о нецелесообразности указанного приема основной обработки почвы в виду резкого усиления ветровой эрозии почв. Эта информация обошлась очень дорого. Можно получать информацию в процессе обобщения производственного опыта.

Однако при этом возникает проблема отбора информации из «шума». Так, многие ценные сведения о предшественниках и предпредшественниках, структуре посевных площадей можно получить, анализируя книги истории полей и данные статистической отчетности при условии, что ведутся надлежащим образом первые и достоверны вторые. Однако и в этом случае возникает «шум» из-за неодинаковых природных и организационно-экономических условий конкретных хозяйств. Перечисленные недостатки устраняются благодаря методически правильной постановке полевых опытов. В этом случае информация и достоверна, и не дорога, а ее получение не причиняет вреда. По проблеме севооборотов и структуры посевных площадей наибольшую ценность представляют данные многолетних стационарных опытов. Они в первую очередь позволяют выяснить вопросы о месте и удельном весе культур в севооборотах, позволяют разрабатывать теоретические основы построения севооборотов применительно к конкретным условиям. Однако, при большом наборе возделываемых культур конкретные севообороты конкретных хозяйств часто не бывают увеличенной копией севооборотов экспериментальных. Сама постановка подобных экспериментов – невыполнимая задача, ведущая к значительному увеличению затрат на получение информации. Именно это обстоятельство является объективным оправданием настоящей работы, так как информационно-энергетический подход на основе установленных закономерностей в использовании ресурсов продуктивности пашни позволяет принимать вполне адекватные решения, а сам указанный подход является новым направлением в развитии теоретических основ севооборотов. К тому же он открывает новые возможности для увязки севооборотов с другими элементами системы земледелия.

8) Получение, переработка, хранение и передача информации являются принципиальной основой процесса управления. В осуществлении последнего определенную роль играют все без исключения элементы системы земледелия. Так, обработка почвы является наиболее действенным (по времени получения необходимого результата) приемом управления физическими свойствами

почвы. Однако очевидно относительная краткосрочность этого воздействия. Вместе с тем взаимоувязка системы обработки почвы с другими элементами системы земледелия позволяет формировать устойчиво высокое плодородие почвы, включая оптимальное ее сложение.

Чтобы управлять, надо иметь выбор. Поэтому игнорирование какого-либо элемента системы земледелия сужает возможности управления. Севообороту принадлежит важная роль на всех направлениях повышения информированности системы. Отсюда понятна возможность сокращения и полного исключения некоторых агроприемов в рационально построенных севооборотах. Вместе с тем рациональное сочетание всех видов управляющих воздействий и технологическая дисциплина – важнейший аспект сохранения информации наряду с организацией территории и надлежащим ведением книги истории полей. Самые благоприятные условия, созданные, например, чередованием культур или мелиоративными мероприятиями (или их сочетанием) могут оказаться не реализованными ввиду некачественного или несвоевременного проведения какого-либо технологического приема.

Хорошая устойчивость отдельных культур к повторному возделыванию объяснима с информационных представлений. Так, кукуруза получила значительное количество информации, во-первых, благодаря селекционному процессу, являясь для последнего очень удобным объектом в силу своих биологических особенностей; во-вторых, это культура интенсивной агротехники и, следовательно, получает в процессе вегетации значительное количество управляющих воздействий, в противном случае продуктивность ее резко снижается как при бессменном возделывании, так и в севообороте.

Важным условием повышения эффективности управления является поступление сведений о его результатах, что позволяет производить соответствующие корректировки. Основой для получения указанных сведений является история поля и закономерности накопления энергии в зависимости от потребленных ресурсов.

9) Информационно-энергетический подход – способ рассуждений, обеспечивающий применение системного подхода для решения многих познавательных и практических задач в земледелии, а также для формулирования последних. Однако «... мышление, если оно не делает промахов, может объединить элементы сознания в некоторое единство лишь в том случае, если в них или в их реальных прообразах это единство уже до этого существовало» [114].

Следовательно, бессмысленно пытаться описать только из «первых принципов» физики все земледелие, так как оно не явление или процесс в природе, а природопользовательная отрасль производства. Поэтому нет необходимости противопоставлять изложенную концепцию другим концепциям и подходам.

Термин «Концепция» понимается как система взглядов на что-нибудь; основная (ведущая) мысль; единый определяющий замысел и т. д. в то же время результаты научно-познавательной деятельности отражаются (выражаются) и фиксируются такими методологическими категориями как гипотеза, научный факт, закон, концепция, теория. Настоящий подход содержит вполне обоснованные претензии на зачисление в разряд теоретических концепций на следующих основаниях: она способна дать не только качественное объяснение изменениям в динамике вещественно-энергетических циклов в агросистемах, но и в состоянии сформулировать количественные законы (эмпирического уровня) этих изменений; обеспечивает условия для перехода от описания внешних сторон к раскрытию внутренних связей в проблеме «продуктивности пашни – плодородие почвы»; позволяет объяснить известные и предсказать еще неизвестные факты; организует «видение» не только отдельных функциональных связей, но и процесса в целом.

Информационно-энергетический подход имеет реальные перспективы широкого практического применения в силу следующих обстоятельств:

1) объективная необходимость высокоэффективного использования ресурсов в условиях современного земледелия;

2) возможность устранения противоречий в решении задач роста производства продукции растениеводства и повышения плодородия почв на единой основе, которую составляют закономерности вещественно-энергетических превращений в агроэкосистемах;

3) удобство при моделировании благодаря небольшому набору показателей, пригодных для использования при принятии решений практически по всему кругу вопросов управления продукционным процессом.

Практическое использование составивших основу изложенной концепции закономерностей формирования урожайности в связи с потреблением ресурсов предопределяет благоприятные последствия для окружающей среды. Так, интенсификация влагооборота (большее иссушение корнеобитаемого слоя определяет лучшее водопоглощение) наряду со снижением эрозионной опасности способствует большей аэрации почвы, которая приводит к снижению эмиссии парниковых газов в атмосферу [52]⁸⁾; дифференциация норм азота в удобрениях на основе мониторинга влажности почвы является профилактическим мероприятием против химического загрязнения окружающей среды и вытекающим из него отрицательных последствий; разработка схем севооборотов и системы удобрений в них в соответствии с принципами информационно-энергетического анализа обеспечивает высокоэффективное использование как природных, так и антропогенных ресурсов продуктивности пашни.

Таким образом, учет количественных закономерностей формирования урожайности в связи с потреблением воды, элементов корневого и воздушного питания на основе адаптивного землеустройства есть безальтернативный путь сохранения и увеличения потенциала главного для человечества экологического ресурса – почвы.

Каждое событие в настоящем рождается из прошлого и является отцом будущего.

Вольтер

6.2 Современные сложности для экологизации сельскохозяйственного производства

С середины двадцатого столетия экология, как биология в целом, испытывала сильное давление догматических трактовок, в которых сильно преувеличивалась роль человека как властелина природы. Создалось ложное впечатление, будто имеющихся знаний вполне достаточно, чтобы управлять природой, и будто растущая техническая оснащенность делает человека независимым от природных условий. Эти тенденции преувеличения технических возможностей человека в использовании природных ресурсов в той или иной степени были характерны для всех развитых стран. Во многом вследствие этого и возникли экологические проблемы окружающей среды, острота которых в полной мере стала ощущаться к концу второго тысячелетия. К этому времени казалось, что именно экология, уже обладающая достаточно развитой теорией и владеющая методами математического моделирования была наиболее подготовленной для решения глобальных проблем отношения человека с окружающей средой. Однако уже на первых порах стало ясно, что проблемы окружающей среды нельзя рассматривать вне связи с социально-экономическими. Как голод, так и опустынивание, загрязнение окружающей среды – все это, в первую очередь, результат социально-экономических кризисов развитых и развивающихся стран [115].

Коренные изменения в общественно-политической и экономической жизни России в начале девяностых годов прошлого столетия повлекли за собой существенные изменения в сельскохозяйственном секторе страны. В результате изменения земельных отношений и возникновения многоукладного сельскохозяйственного производства нарушилась связь между растениеводством и животноводством. Последнее при экономических

отношениях в советский период было убыточным и дотировалось государством (в основном за счет растениеводства). Прекращение этой поддержки и диспаритет цен отразились на размерах кормового клина на пахотных землях. В областях Центрального Черноземья его доля к началу третьего тысячелетия сократилась в 4...6 раз сравнительно с дореформенным периодом (с 2010 г. по настоящее время это уменьшение стабилизировалось на уровне 2...3 раза), что привело к ухудшению условий для размещения в севооборотах ведущих зерновых и технических культур и, как следствие, стимулировало применение химических средств защиты растений.

В дополнение к сказанному, по мере вхождения России в мировой аграрный рынок сельхозтоваропроизводители концентрируют свое внимание только на тех культурах, возделывание которых позволяет получать наибольшую прибыль, например подсолнечника. Эта культура требовательна к предшественникам, а сама в наименьшей степени годится в этой роли для большинства культур в земледелии Центрального Черноземья.

В период либерального реформирования была ликвидирована государственная землеустроительная служба, что обусловило задержку в развитии адаптивно-ландшафтного земледелия. В советский период землеустройство было частью хозяйственного механизма. На основе землеустроительных обследований разрабатывалось и природоохранное благоустройство территории, включающее систему ветроломных, водорегулирующих и приовражных лесополос в проектах внутрихозяйственного землеустройства, которое способствует лучшему соотношению между фитофагами и энтомофагами в полях севооборотов межполосного пространства [116, 117] и, соответственно снижению уровня применения инсектицидов.

За продолжительный период экспериментальных исследований, выполненных в регионе научно-исследовательскими учреждениями земледельческого профиля в целях развития зонального, становления адаптивного и биологизированного земледелия в принципе выяснен вопрос о

месте основных культур в севооборотах хозяйств различного производственного направления (приложение Д) и условия для взаимосвязи роста продуктивности пашни с воспроизводством плодородия почвы (приложение Е).

Анализ сложившейся за последние полтора десятилетия структуры посевных площадей свидетельствует о направленности её на экспорт зерна и маслосемян в ущерб развитию кормопроизводства. Последствия отсутствия взаимоувязки размещения культур с научно обоснованной структурой посевных площадей проявляются в неустойчивости по годам (независимо от погоды) производства конкретных видов растениеводческой продукции и в ухудшении фитосанитарной обстановки в посевах, сопровождающейся увеличением объемов применения химических средств защиты растений.

Наибольший изъян нынешней структуры посевных площадей в плане предотвращения водной эрозии почвы – доля многолетних трав в 3 раза меньше необходимой для формирования почвозащитных севооборотов.

Совершенствование структуры посевных площадей на ближнюю перспективу сводится к соблюдению следующих правил: 1) независимо от специализации озимые зерновые следует размещать только после надежных предшественников, что является главным условием соблюдения предусмотренного чередования культур; 2) лучшими предшественниками для высокопродуктивных и технических культур являются озимые зерновые по лучшим предшественникам (исключая размещение после них ячменя) и зернобобовые (исключая повторное их размещения); 3) значимость предшественников для всех яровых культур меняются в зависимости от специализации сельскохозяйственных предприятий; 4) высокоэффективное использование пашни обеспечивается при оптимальной (предельно допустимой) доле и наилучшим размещением культур, соответствующих производственному направлению хозяйств; 5) агротехнологический критерий системы севооборотов – отсутствие культур с низкой почвозащитной способностью на эрозионно-опасных участках, хозяйственный – соответствие

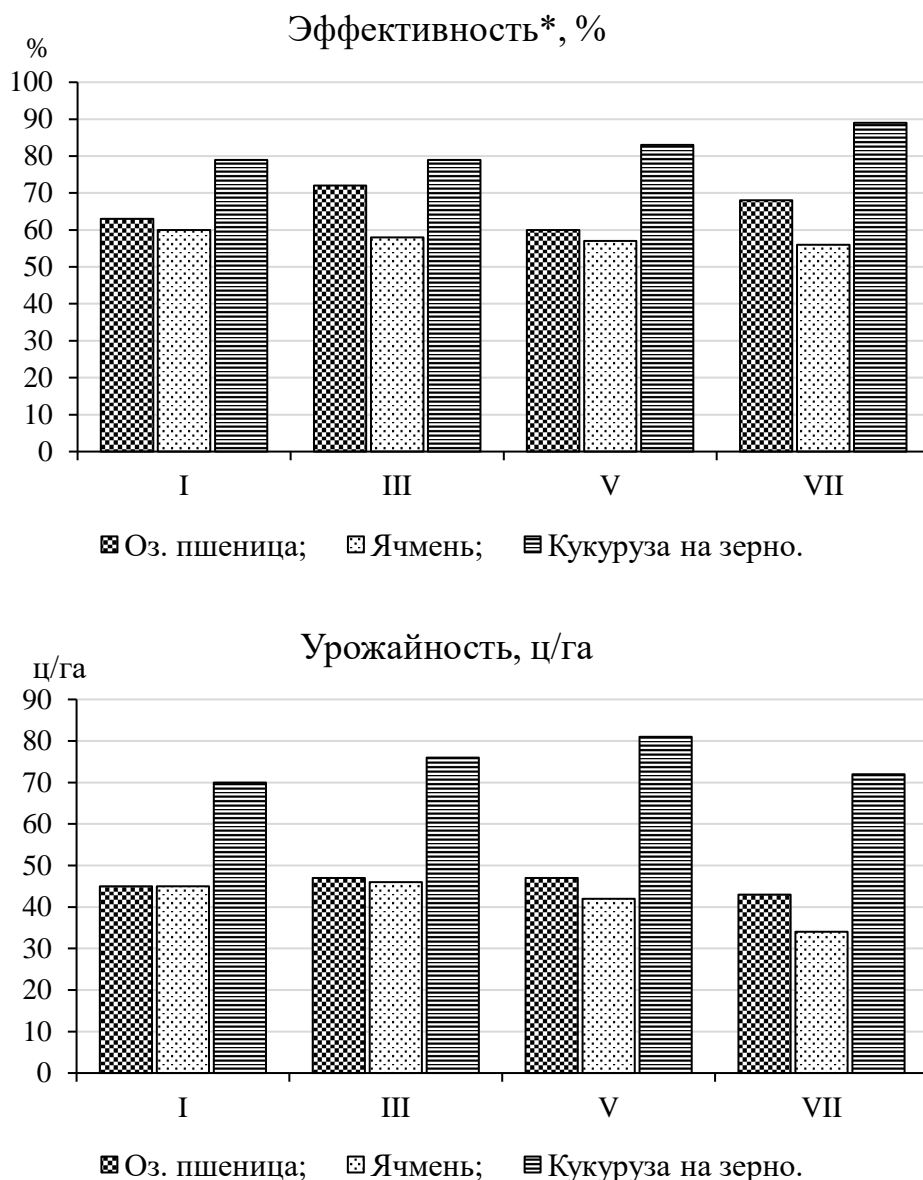
структуры посевных площадей специализации сельхозпредприятий, которую необходимо устанавливать на этапе анализа агроландшафтных условий, предшествующем разработке конкретных систем севооборотов.

Реализация потенциала продуктивности (см. С. 20, табл. 2) по природно-ресурсам региона для конкретных культур не одинакова. Сочетания тепла и влаги, обеспечивающие высокую урожайность по природно-ресурсным подзонам сложились следующим образом: для многолетних трав в 1-й, 3-й (большая часть) и 4-й; для сахарной свеклы в 1-й, 3-й, 4-й и 5-й; для подсолнечника в 4-й (большая часть), 5-й, 6-й и 7-й; для озимой пшеницы в 1-й, 3-й (большая часть), 4-й, 5-й и 6-й; для ячменя – с 1-й по 4-ю включительно. Для получения высоких урожаев кукурузы влага не является лимитирующим фактором. Однако, необходимая для получения зерна даже раннеспелых гибридов этой культуры сумма эффективных температур в северной части региона обеспечена только в 80 % лет. Увеличению сборов кукурузного зерна в 4-й, 5-й и 6-й подзонах способствует возможности возделывания среднеранних гибридов. Еще более реально здесь и в 7-й подзоне увеличение урожайности кукурузы на силос за счет гибридов более поздней скороспелости.

Из-за неодинаковой величины и сочетания в подзонах факторов, составляющих природно-ресурсный потенциал, полнота его использования не всегда коррелирует с величиной урожайности, что наглядно видно на примерах ячменя и кукурузы (рис. 16).

Внутризональная дифференциация структуры посевных площадей (приложение Ж) необходима в целях эффективного использования ресурсов продуктивности пашни и более полной реализации генетического потенциала возделываемых растений, является ориентиром для развития агропромышленного комплекса, основанного на целесообразном расположении перерабатывающих предприятий как составной части формирования рынков сбыта. Предложенную структуру посевных площадей целесообразно использовать в целях административного обеспечения устойчивого развития

сельских территорий, которое является важной задачей государственной аграрной политики.



*по степени использования потенциала продуктивности подзон, I, III, V, VII – природно-ресурсные подзоны Центрального Черноземья.

Рисунок 16. Использование агроклиматического потенциала озимой пшеницей, ячменем и кукурузой на зерно

Для компенсации отчуждаемого с основной продукцией азота при сложившейся структуре посевных площадей его необходимо вносить не менее 110 кг в среднем на каждый гектар пахотных земель в регионе (без учета потерь азота минеральных удобрений в атмосферу) при том, что во всех

земледельческих зонах страны наблюдается отрицательный баланс этого элемента [118, 119]. Азот и углерод – главные структурообразующие элементы гумуса, от которого в решающей степени зависит здоровье почвы [120, 121 как системы. Устойчивость системы определяется тем, что называют «расширенным принципом Ле Шателье», который каждый понимает по-своему, но смысл его сводится к тому, что система, неспособная к самокомпенсации, разрушается. Поэтому при истощающем использовании почвы она разрушится прежде, чем будут исчерпаны содержащиеся в ней питательные вещества.

*Рост жизни не в одном развитии мышц.
По мере роста тела в нем, как в храме,
растет служенье долга и ума.*

В. Шекспир

6.3 Гармонизация сельскохозяйственного производства – путь к эффективному и экологичному земледелию

Гармонизацию земледелия и животноводства академик В. И. Кирюшин определил как важнейшее направление в организации энергомассопереноса соответственно задачам эколого-экономической оптимизации сельскохозяйственного природопользования [122]. К сожалению, и земледелие, и животноводство, являясь составной частью общественного производства (ключевое слово в данном контексте) функционируют раздельно, то есть сами по себе. Другими словами, взаимодействие между земледелием и животноводством осложнено отношениями общества с окружающей средой и поэтому проблема остается довольно запутанной. Незрелость экономической науки и социологии привели к тому, что в последней четверти прошлого столетия проблемы человеческого общества стали рассматриваться с позиций «мира животных и растений» (например, в простых балансовых моделях Римского клуба).

Устойчивого развития не может быть при нестабильной социальной обстановке. Последняя реально возможна только при достаточной и сбалансированной обеспеченности населения пищевыми продуктами животного и растительного происхождения, которая способствует становлению здорового образа жизни и уважительных отношений между людьми.

Развитие мысли в естествознании всегда колебалось между стремлением понять общую картину природы (её систему) и пониманием механизмов действия наиболее общих законов природы. В течении двух столетий существовало убеждение, что систему природы можно понять, опираясь на происхождение и историю объектов. По мере развития методов системного анализа интерес сместился к взаимодействию элементов в системах, что характерно и для общественных наук. Бесперспективно рассматривать земледелие и животноводство с позиций системного анализа, так как они являются элементами более сложной системы общественного производства (по К. Пруткову «в каждой части света есть свои, другие части света»), в которой возможны процессы самоорганизации как позитивного, так и негативного свойства. Поэтому во избежание социальных эксцессов общественное производство должно быть управляемым, а степень управляемости необходимо обосновывать важностью и остротой проблемы.

Связь между земледелием и животноводством была очевидной при натуральном хозяйстве, когда численность населения была значительно меньшей при высокой доле сельских жителей. Поскольку свиньи и домашняя птица являются конкурентами человека в потреблении зерна, то и размеры их поголовья определялись по остаточному принципу. В ту пору основным источником удобрения полей было скотоводство. Один из первых русских агрономов-ученых И. М. Комов писал «Главный к совершенству земледелия способ есть скотоводство, чем больше скота, тем больше навоза и хлеба будет». Важно понимать, что незамкнутый круговорот веществ в цепи «естественные кормовые угодья – ферма – поле» было истощающим для лугов и пастбищ в пользу полевых культур. Кроме того, не следует забывать, что в течение

продолжительного периода структура земледелия в большой мере была связана именно со скотоводством, потребностями которого определялась доля кормовых культур, обеспечивающих в севооборотах благоприятное размещение зерновых культур.

К настоящему времени очевидным стало противоречие между растущей общественной потребностью в диетически ценной продукции скотоводства и заметными отрицательными экологическими последствиями концентрации животноводства в крупных комплексах. Однако, противоречие это устранимое посредством проектирования молочно-товарных комплексов с соблюдением необходимых экологических ограничений (в т.ч. и по размерам стада) при решенном вопросе (в каждой конкретной ситуации) о наиболее рациональном использовании побочной продукции животноводства в качестве удобрения. Разрешение указанного противоречия неизбежно в плане подготовки (разработки) стратегии развития приоритетных направлений аграрной науки. Первоочередное значение при этом имеет сохранение наиболее ценного экологического ресурса – почвы.

Одновременно с ростом продуктивности пахотных земель увеличивается разрыв между отчуждением из почвы азота и углерода с товарной частью урожая и компенсацией за счет удобрений. Применение минерального азота осложнено его дороговизной, а также тем негативным фактором, что при внесении возрастающих доз азотных удобрений усиливается (от 0,1 до 4,6 %) выделение из почвы закиси азота [118, 123]. Пребывание этого газа в атмосфере по существующим оценкам больше 200 лет (в 170-300 раз больше в сравнении с CO₂), что ведет к его накоплению и, следовательно, усилению парникового эффекта.

Почва является материальной основой развития общества. Следовательно, для её воспроизводства необходимо использовать и «экономику природы». Положительное влияние способных к симбиотической азотфиксации многолетних бобовых трав на плодородие почвы давно известно, но практически не используется в силу невостребованности из-за неразвитости

скотоводства. Вместе с тем сравнительно несложные расчеты свидетельствуют, что при наличии в десятипольном севообороте 10 % зернобобовых и звена «многолетние травы – многолетние травы – многолетние травы на 1 укос» потребность в азоте для его бездефицитного баланса уменьшается вдвое при увеличении продуктивности пашни на 14 %.

В силу нелинейного развития общества, науки и производства между ними увеличивается количество обратных связей. Объективная необходимость включения в севообороты многолетних трав для обеспечения потребностей скотоводства есть запрос (требование, просьба) общества, обеспокоенного судьбой отдаленных поколений. Запрос этот научно обоснован, а наука является наиболее основательной формой богатства общества, рациональной основой производства и планирования, предвидения хода природных и социальных процессов.

В решении проблемы воспроизводства гумуса наряду с азотом одинаково важен углерод. Среди почвенной микробиоты только водоросли способны к фототрофному питанию. Усиление их возможности переносить сухость почвы (за счет отбора и (или) генной инженерии) вполне реально и перспективно для согласования поста урожайности с воспроизводством плодородия.

Природным аналогом гармонизации земледелия и животноводства являются закономерности в развитии живых систем. В прогрессивных эволюционных изменениях организмов ведущее значение имеют адаптационные изменения, которые ведут к их усложнению, совершенствованию и более активному овладению окружающей средой. Применительно к человеческому обществу особо важное значение имеет управление искусственной средой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В силу системообразующей функции рационально сочетающихся в конкретном хозяйстве севооборотов и чередования культур наиболее удобными объектами для управления вещественно-энергетическими потоками и согласования хозяйственных и экологических задач являются поля севооборотов. В представленной книге остался не охваченным важный в экологическом отношении аспект интегрированной защиты растений, так как вопрос картирования засоренности полей известен, а решаемая в принципе методика выбора мер против насекомых пока не разработана.

Главные итоги проведенного исследования: основой для выбора специализации хозяйств и формирования согласно ей структуры посевных площадей должно стать экологически нормированное землеустройство, обоснованное с позиций эрозионной опасности в агроландшафтах и средообразующей роли полевых культур; для достижения необходимых хозяйственных результатов разрабатывать схемы севооборотов следует с использованием количественных закономерностей в формировании урожайности в связи с потреблением воды и элементов минерального питания; во избежание отрицательного влияния минеральных удобрений на окружающую среду внесение их должно быть дробным, а нормы увязанными с уровнем влагообеспеченности.

Практическое использование результатов: разработка схем севооборотов, оценка природно-ресурсного потенциала сельхозпредприятий, выбор возможных вариантов специализации производства, определение допустимых уровней интенсификации земледелия, формирование природно-хозяйственных территориальных комплексов.

В долгосрочной перспективе устранение дисбаланса азота и сопряженной с ним потерей гумуса по экономическим и экологическим причинам реально только за счёт увеличения доли биологического азота в воспроизводстве плодородия почвы. Для этого необходимо расширять площади под практически невостребованными в настоящее время многолетними бобовыми травами. Для устранения этого противоречия необходимо развитие молочного скотоводства.

ПРИМЕЧАНИЯ

1) Согласно подготовленной ФАО карты почв мира в настоящее время обрабатывается около 11 % всей территории суши. Примерно 12 % всех площадей, занятых лесами и пастбищами, могут быть освоены под пашню. Из потенциально пригодных для такого освоения земель около четверти находится в промышленно развитых странах и свыше 70 % – в развивающихся. По всему массиву развивающихся стран общая площадь угодий, потенциально пригодных для ведения неорошаемого земледелия, составляет больше 2000 млн. га, хотя обрабатывается только 670 млн. га. При высоком уровне агротехнологий окажется возможным прокормить население в 33 млрд. человек. Следовательно, реальные барьеры на пути достижения хороших показателей обеспеченности продовольствием заключается не в недостатке земельных ресурсов и не в чрезмерной плотности населения, а в несовершенстве политико-управленческих и социальных структур, анализа агроэкономического потенциала на глобальном и национальном уровнях для формирования стратегии развития [124].

2) а) представление о науке и особенно о естествознании как о главном факторе общественного прогресса; б) течение в социальной науке, ставящее задачей уподобление социальных наук естественным как по методам, так и по функции в обществе.

3) Практикуемые в земледелии, растениеводстве, агрометеорологии и других дисциплинах характеристики из математической статистики, например коэффициенты корреляции и регрессии безразмерные, а поэтому не пригодны для количественной оценки и отражают только наличие или отсутствие связи (её тесноту).

4) Выяснение природы питания растений заняло значительный исторический период от простого созерцания до тонких химических анализов [2, 25]. В конце шестнадцатого века родоначальник английского материализма

Френсис Бекон наблюдая, сколько растения потребляют воды, пришел к выводу, что она составляет для них «основное питание».

Сторонниками водной гипотезы питания растений были голландский химик Ван Гельмонт (1579-1644 гг.) и видный английский физик и химик Роберт Бойль (1627-1691 гг.). Первый из них поставил знаменитый эксперимент. Он взял 200 фунтов (75 кг) высушенной в печи почвы, поместил её в глиняный сосуд и посадил в него ветвь ивы, весившую 5 фунтов (75 кг). Почву в сосуде поливали дождевой или дистиллированной водой; через пять лет дерево ивы было выкопано, оно весило более 169 фунтов (листья не убирались осенью, они оставались в сосуде). По окончании опыта Ван Гельмонт снова высушил почву, и получил те же самые 200 фунтов, как и в начале опыта, за исключением примерно 2 унций (62 г). Следовательно, 169 фунтов древесины, коры и корней выросли из одной только воды». Бойль повторил этот опыт с индийской тыквой и получил сходный результат.

Водная гипотеза питания растений просуществовала более ста лет и уступила место гумусовой теории. В своей книге «О земледелии», вышедшей в 1788 г. И. М. Комов писал «... питательный сок растений ничем не разнится от пищи животных, и этот питательный сок является продукцией гниения растений – части гниющего растения превращаются в состав растущих растений. Через 27 лет Альбрехт Тэер в своем труде «Основы рационального сельского хозяйства» утверждал, что плодородие почвы зависит от гумуса, так как кроме воды он представляет единственное вещество почвы, которое может служить пищей для растений. Последующим этапом в развитии теории питания растений стали труды Ю. Либиха и Ж. Б. Буссенго.

5) Поливидовые посевы перспективны на окультуренных сенокосах и пастбищах.

6) При сукцессиях меняется тип сообщества (растительная формация по В. Н. Сукачеву) и это изменение растянуто во времени, а не одноразовый ежегодный акт.

7) Обустроенное землепользование, включающее севообороты как территориальные объекты пахотных земель – наиболее консервативный объект системы земледелия конкретных сельхозпредприятий. Для решения частных задач в достижении высоких урожаев имеется широкий набор агротехнических приемов и мероприятий.

8) Из четырех групп почвенных организмов (подземные части растений, беспозвоночные животные, грибы, бактерии) состав парниковых газов обеспечивают лишь бактерии, так как существуют трофические взаимоотношения между анаэробными генераторами восстановленных газов и аэробным «бактериальным фильтром» – бактериями, которые окисляют восстановленные продукты и не допускают их выхода в атмосферу [49].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мерперт, Н. Я. Древнейшее земледелие на Ближнем Востоке // Природа. – 1981. – № 11. – С. 42-49.
2. Крупеников, И. А. История почвоведения (от времени его зарождения до наших дней). – М.: Наука, 1981. – 327 с.
3. Дулов, А. В. Человек и природа в России XVIII – первой половине XIX вв. // Природа. – 1979. – № 11. – С. 82-94.
4. Миркин, В. М. Антропогенная эволюция растительности // Природа. – 1990. – № 1. – С. 45-54.
5. Данилов-Данильян, В. И. К вопросу о коэволюции природы и общества // Экология и жизнь. – 1998. – № 2. – С. 46-51.
6. Декларация Земли – кодекс поведения наций и народов для достижения устойчивого развития // Зеленый мир. – 1998. – № 12. – С. 3-4.
7. Кутырев, В. А. Утопическое и реальное в учении о ноосфере // Природа. – 1990. – № 11. – С. 3-10.
8. Одум, Ю. Экология. – М.: Мир, 1986. – 704 с.
9. Уранов, А. А. Растения и среда / Жизнь растений. Т. 1. – М. Просвещение, 1974. – С. 58-86.
10. Соловиченко, В. Д. Почвенный покров Центрально-Черноземного региона и воспроизводство плодородия почв; дис. ... д-ра с.-х. наук. – Курск, 2011. – 284 с.
11. Соловиченко, В. Д. Воспроизводство плодородия почв и рост продуктивности сельскохозяйственных культур Центрально-Черноземного региона / В. Д. Соловиченко, С. И. Тютюнов, Г. И. Уваров. – Белгород: Отчий край, 2012. – 255 с.
12. Акименко, А. С. Методика использования ресурсов в земледелии на основе информационно-энергетического анализа. – Курск: ЮМЭКС, 2000. – 76 с.

13. Тимирязев, К. А. Борьба растений с засухой / Избранные сочинения. Т. 2. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 404 с.
14. Пономаренко, А. К. Чистый пар в свекловичном севообороте // Земледелие. – 1983. – № 3. – С. 12-14.
15. Картамышев, Н. И. Пары в почвозащитных системах земледелия / Н. И. Картамышев, И. Т. Бардунова // Земледелие. – 1986. – № 7. – С. 27-29.
16. Зеленский, Н. А. Эффективность чистого и занятых паров при различных способах их обработки на эродированных черноземах Ростовской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Воронеж, 1982.
17. Листопадов, И. Н. Плодородие почвы в интенсивном земледелии / И. Н. Листопадов, И. М. Шапошникова. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 204 с.
18. Годулян, И. С. Озимая пшеница в севооборотах. – Днепропетровск: Промінь, 1974. – 175 с.
19. Волошин, О. С. Продуктивная влага под озимой пшеницей в интенсивных севооборотах северной степи Украины / О. С. Волошин, П. Б. Лиман, А. И. Дудар // Степное земледелие. – 1986. – Вып. 20. – С. 9-13.
20. Неклюдов, А. Ф. Севооборот – основа урожая. – Омск: Омское книжное изд-во, 1990. – 128 с.
21. Володин, В. М. Экологические основы оценки и использования плодородия почв. – М.: ЦИНАО, 2000. – 336 с.
22. Завалин, А. А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. – М.: Изд-во ВНИИА, 2022. – 256 с.
23. Никитишен, В. И. Оптимизация минерального питания растений // Земледелие. – 1985. – № 10. – С. 7-11.
24. Лыков, А. М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 142 с.
25. Лошаков, В. Г. Севооборот и плодородие почвы. – М.: Изд-во ВНИИА, 2012. – 512 с.

26. Тугуз, Р. К. Научное обоснование систем и способов обработки слитного чернозема в различных звеньях севооборотов в Республике Адыгея. – Майкоп: Магарин О. Г., 2011. – 272 с.

27. Мамсиров, Н. И. Оптимизация системы обработки почв как фактор повышения их плодородия и продуктивности пропашных культур: монография. – Майкоп: Магарин О. Г., 2015. – 287 с.

28. Навольнева, Е. В. Влияние применения удобрений на содержание гумуса в черноземе типичном / Е. В. Навольнева, В. Д. Соловиченко, М. А. Куликова // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия: Сб. докладов. науч.-практ. конф. (21 апреля 2017 г.) / ВНИИЗиЗПЭ. – Курск: ТОП+, 2017. – С. 216-219.

29. Дедов, А. В. Воспроизводство плодородия черноземов в севообороте / А. В. Дедов, Н. И. Придворев, Л. П. Кузнецова // Земледелие. – 2003. – № 4. – С. 5-7.

30. Ступаков, А. Г. Система удобрения культур зерносвекловичного севооборота при бездефицитном балансе гумуса в почве в связи с симбиотическим азотом / А. Г. Ступаков, А. В. Дубич // Теория и практика использования агрохимических средств в современном земледелии Центрально-Черноземных областей России: Сборник. – Белгород: Крестьянское дело, 2002. – С. 173-183.

31. Терентьев, О. В. Эффективные севообороты для производства зерна в Среднем Поволжье // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 1. – С. 19-21.

32. Терентьев, О. В. Технологии воспроизводства плодородия почвы в зерновых севооборотах в Среднем Поволжье // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 1. – С. 48.

33. Arne Poyda, Hans-Dieter Wizemann, Joachim Ingwersen, Ravshan Eshonkulov, Petra Högy, Michael S. Demyan, Pascal Kremer, Volker Wulfmeyer, Thilo Streck. Carbon fluxes and budgets of intensive crop rotations in two regional

climates of southwest Germany // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2019. – Vol. 276. – P. 31-46.

34. Anna Jacobs, Heinz-Josef Koch, Bernward Märländer. Using preceding crop effects for climate smart sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivation // *European Journal of Agronomy*. – 2019. – Vol. 104. – P. 13-20. – DOI: 10.1016/j.eja.2018.12.006.

35. Завалин, А. А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней / А. А. Завалин, О. А. Соколов. – М.: Изд-во ВНИИА, 2016. – 591 с.

36. Семенов, В. М. Биологически активное органическое вещество в почвах европейской части России / В. М. Семенов, Б. М. Когут, Н. Б. Зинякова, Н. П. Масютенко и др. // *Почвоведение*. – 2018. – № 4. – С. 457-472. – DOI: 10.7868/S0032180X1804007X.

37. Semenov, A. M. Determination of the Number of Ammonification Bacteria and Activity of the Ammonification Process in Soils and their Relevance for the Development of the of Soil Health Parameter / A. M. Semenov, I. L. Khvatov, A. V. Olenin // *Current Investigations in Agriculture and Current Research*. – 2019. – Vol. 6 (2). – P. 715-722.

38. Pollet, C. S. Influence of summer crop residues on N present in organic matter fractions under two lowland soils / C. S. Pollet, L. S. Silva., B. Chaves, L. R. Neto, M. F. Dossin, S. J. Giacomini, A. C. Filho // *Soil Science*. – 2019. – Vol. – 4904. – e. 201802747.

39. Логвинов, И. В. Эффективность предшественников озимой пшеницы в условиях юго-запада ЦЧЗ // *Инновационные технологии возделывания белого люпина и других зерновых культур: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. (Белгород, 13-15 июня 2017 г.)* / Белгородский НИИСХ. – Белгород: Белгородская областная типография, 2017. – С. 327-336.

40. Горянин, О. И. Формирование урожаев озимой пшеницы в технологиях точного земледелия в Самарском Заволжье / О. И. Горянин, А. П. Чичкин, Б. Ж. Джангабаев // *Земледелие и селекция сельскохозяйственных*

растений на современном этапе: Сб. докладов Междунар. практ. конф. (9-10 января 2016 г.). – Шортанды: Изд-во НПЦЗХ им. А.И. Бараева, 2016. – С. 31-37.

41. Лазарев, В. И. Эффективность влияния отдельных видов минеральных удобрений и их сочетаний на продуктивность культур зернопропашного севооборота / В. И. Лазарев, И. А. Золотарева, А. Н. Хижняков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 46-51.

42. Власов, В. Г. Формирование урожайности нового сорта пшеницы мягкой яровой Ульяновская 105 в зависимости от приемов агротехники / В. Г. Власов, Л. Г. Захарова // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 3. – С. 26-28. – DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10306.

43. Стулин, А. Ф. Комплексная оценка длительного применения минеральных удобрений в агроценозах кукурузы в условиях Центрального Черноземья // Кукуруза и сорго. 2018. – № 1. – С. 9-14.

44. Костицын, В.А. Эволюция атмосферы, биосферы и климата / Пер. с франц; под ред. и с послесловием Н. Н. Моисеева. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 96 с.

45. Виноградов, А. П. Введение в геохимию океана. – М.: Наука, 1967. – 215 с.

46. Базилевич, Н. И. Продуктивность и биогеохимия современной биосферы // Почвоведение. – 1979. – № 2. – С. 5-21.

47. Ронов, А. Б. Принципы сохранения жизни в ходе геологической эволюции Земли // Природа. – 1978. – № 4. – С. 30-41.

48. Бютнер, Э. К. Планетарный газообмен O₂ и CO₂. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 238 с.

49. Заварзин, Г. А. Биосфера и климат глазами биологов / Г. А. Заварзин, У. Кларк // Природа. – 1987. – № 6. – С. 65-77.

50. Черкасов, Г. Н. Совершенствование севооборотов и структуры посевных площадей для хозяйств различной специализации Центрального

Черноземья / Г. Н. Черкасов, А. С. Акименко // Земледелие. – 2016. – № 5. – С. 8-11.

51. Никитин, В. В. Продуктивность севооборотов в зависимости от факторов земледелия в юго-западной части ЦЧЗ / В. В. Никитин, В. Д. Соловиченко, Е. В. Навольнева, И. В. Логвинов // Инновационные направления в химизации земледелия и сельскохозяйственного производства: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (19-21 июня 2019 г.) / ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН». – Белгород: Принт, 2019. – С. 218-223.

52. Лукин, С. М. Нормативные показатели эффективности органических удобрений по зонам Российской Федерации // Инновационные направления в химизации земледелия и сельскохозяйственного производства: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (19-21 июня 2019 г.) / ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН». – Белгород: Принт, 2019. – С. 334-341.

53. Прянишников, Д. Н. Севооборот и его значение поднятти наших урожаев // Избранные сочинения. – Т. 4. – М.: Изд-во АН СССР. – 1945. – С. 195-222.

54. Лобков, В. Т. Почвоутомление при выращивании полевых культур. – М.: Колос, 1994. – 112 с.

55. Акименко, А. С. Севооборот как информационная основа эффективного использования ресурсов в земледелии: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / Всерос. науч.-исслед. ин-т земледелия и защиты почв от эрозии. – Курск, 2001. – 268 с.

56. Итоги и задачи изучения севооборотов в сельскохозяйственных вузах: Материалы науч.-метод. межвузовской конференции (15-18 марта 1967 г.) / под ред. С. А. Воробьева, Ф. К. Залялова. – М.: ТСХА, 1967. – 110 с.

57. Реймерс, Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.

58. Лобков, В. Т. Интенсификация биологических факторов воспроизводства плодородия почвы в земледелии: монография / В. Т. Лобков,

Н. И. Абакумов, Ю. А. Бобкова, В. В. Наполов. – Орёл: Изд-во ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2016. – 160 с.

59. Зезюков, Н. И. Научные основы воспроизводства плодородия черноземов ЦЧЗ: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Воронеж, 1993. – 36 с.

60. Дедов, А. А. Плодородие чернозема типичного и урожайность культур севооборотов при различных способах обработки почвы и приемах биологизации в лесостепи ЦЧР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Воронеж, 2016. – 25 с.

61. Дедов, А. А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном и продуктивность культур севооборотов / А. А. Дедов, А. В. Дедов, В. А. Несмеянова // *Агрохимия*. – 2016. – № 6. – С. 3-8.

62. Тютюнов, С. И. Зависимость урожайности сахарной свеклы от структуры севооборота, способа основной обработки почвы и внесения удобрений в лесостепной зоне Центрального Черноземья / С. И. Тютюнов, А. Н. Воронин, В. А. Никитин, В. Д. Соловиченко // *Агрохимия*. – 2015. – № 10. – С. 25-29.

63. Минакова, О. А. Продуктивность зерносвекловичного севооборота при краткосрочном и длительном применении удобрений в ЦЧР / О. А. Минакова, Л. В. Александрова, Т. Н. Подвигина // *Земледелие*. – 2021. – № 2. – С. 18-22. – DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10204.

64. Цыгуткин, А. С. Изучение влияния технологий возделывания сельскохозяйственных культур и почвы, как саморазвивающейся системы, на содержание гумуса / А. С. Цыгуткин, А. В. Азаров // *Достижения науки и техники АПК*. – 2021. – № 6. – Т. 35. – С. 44-49. – DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10608.

65. Лошаков, В. Г. Влияние зеленого удобрения на плодородие почвы в зерновых севооборотах Нечерноземной зоны / В. Г. Лошаков, Ф. Элмер, Ю. Д. Иванов, С. Ф. Иванова, Ю. Н. Синих // *Доклады ТСХА*. – М.: Изд-во ТСХА, 1997. – Вып. 268. – С. 28-33.

66. Давлятшин, И. Д. Калий в пахотных почвах лесостепи / И. Д. Давлятшин, А. А. Лукманов, А. Н. Бадиков // Плодородие. – 2013. – № 2. – С. 27-29.

67. Лазарев, В. И. Изменение калийного режима чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании / В. И. Лазарев, Р. И. Лазарева, Б. С. Ильин, Н. Н. Боева // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия: Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева». – Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2019. – С. 209-213.

68. Лазарев, В. И. Фосфорный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании / В. И. Лазарев, Р. И. Лазарева, Б. С. Ильин, // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 7. – С. 5-11.

69. Пакомов, Б. Я. Динамичные системы и системный подход / Б. Я. Пакомов, В. И. Большаков // Природа. – 1983. – № 5. – С. 79-87.

70. Пыхтин, И. Г. Агроэкологические основы продуктивности севооборотов лесостепи России и Украины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Курск, 1994. – 33 с.

71. Печуркин, Н. С. Энергия и жизнь. – Новосибирск: Наука, 1988. – 187 с.

72. Пригожин, И. Возвращение очарованного мира / И. Пригожин, И. Стенгерс // Природа. – 1986. – № 2. – С. 86-95.

73. Акименко, А. С. Основы эффективного использования природных ресурсов в севооборотах // Земледелие. – 2015. – № 1. – С. 22-23.

74. Масютенко, Н. П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства. – М.: Изд-во РАСХН, 2012. – 150 с.

75. Заславский, М. Н. Почвозащитное земледелие / М. Н. Заславский, А. Н. Каштанов. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 207 с.

76. Черкасов, Г. Н. Улучшение и использование природных кормовых угодий на склонах Центрального Черноземья. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2004. – 128 с.
77. Болотов, А. Т. Избранные сочинения по агрономии, плодоводству, лесоводству, ботанике. – М.: Изд-во Московского общества испытателей природы, 1952. – 524 с.
78. Советов, А. В. Избранные сочинения. – М.: Сельхозгиз, 1950. – 460 с.
79. Прянишников, Д. Н. Об удобрении полей и севооборотов. – М.: Изд-во МСХ РСФСР, 1962. – 442 с.
80. Каштанов, А. Н. Почвоводоохранное земледелие / А. Н. Каштанов, М. Н. Заславский. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 461 с.
81. Жученко, А. А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1994. – 146 с.
82. Кирюшин, В. И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 366 с.
83. Косинский, В. С. Агротехнические основы севооборотов. – М.: Колос, 1970. – 104 с.
84. Черкасов, Г. Н. Модели адаптивно-ландшафтных систем земледелия для основных природно-сельскохозяйственных регионов страны / Г. Н. Черкасов, С. И. Тютюнов, К. Н. Кулик и др. – Курск, Изд-во ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2005. – 80 с.
85. Методика проектирования базовых элементов адаптивно-ландшафтных систем земледелия / Г. Н. Черкасов, Н. П. Масютенко и др. – М.: Россельхозакадемии, 2010. – 85 с.
86. Агроэкологическая оценка земель, проектирование АЛСЗ и агротехнологий / под ред. В. И. Кирюшина, А. Л. Иванова. – М.: Росинформагротех, 2005. – 783 с.
87. Черкасов, Г. Н. Новые схемы севооборотов и усовершенствованная структура посевных площадей для хозяйств зерно-свекло-скотоводческой

специализации Центрального Черноземья / Г. Н. Черкасов, А. С. Акименко, В. И. Свиридов и др. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2006. – 36 с.

88. Южаков, А. И. Оптимизация структуры посевных площадей с помощью ЭВМ / А. И. Южаков, А. И. Сотников // Земледелие. – 1982. – № 8. – С. 36-37.

89. Овсянников, В. И. Моделирование и оптимизация систем земледелия в северной лесостепи Зауралья / В. И. Овсянников, С. М. Овсянникова, А. Н. Сухорукова и др. // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1983. – № 3. – С. 48-54.

90. Шашкова, Г. Д. Моделирование структуры посевных площадей с учетом севооборотных требований / Г. Д. Шашкова, И. Г. Зотова, В. И. Батраков // Вестник сельскохозяйственной наук. – 1989. – № 2. – С. 128-133.

91. Методика математического моделирования структуры посевных площадей и севооборотов / В. М. Дудкин, А. С. Акименко, В. И. Свиридов и др. – М.: ВАСХНИЛ, 1991. – 24 с.

92. Свиридов, В. И. Моделирование производственной структуры предприятия с использованием унифицированной экономико-математической модели / В. И. Свиридов, Н. Н. Петренко. – Курск: Изд-во КГСХА, 1997. – 46 с.

93. Свиридов, В. И. Методологические и методические аспекты проектирования оптимальной структуры посевных площадей в условиях перехода к адаптивно-ландшафтному земледелию // Вестник КГСХА. – 2018. – № 2. – С. 4-10.

94. Лошаков, В. Г. Нормативно-технологические основы проектирования и оценки эффективности севооборотов в Центральном регионе Российской Федерации / В. Г. Лошаков, Ю. Д. Иванов. – М.: Изд-во МСХА, 2004. – 58 с.

95. Кириллов, Н. А. Влияние сахарной свеклы и кукурузы на продуктивность плодосменного севооборота / Н. А. Кириллов, А. И. Волков, Л. Н. Прохорова и др. // Сахарная свекла. – 2014. – № 6. – С. 42-44.

96. Бондаренко, В. И. Особенности развития корневой системы и продуктивность озимой пшеницы в почве с разным плодородием / В. И.

Бондаренко, М. М. Повзик, А. Н. Климов // Биологические основы повышения урожая озимой пшеницы и других полевых культур в северной степи УССР: Сборник. – Днепропетровск: Изд-во ВНИИ кукурузы, 1976. – С. 37-43.

97. Куницын, Н. А. Последствие удобрений, применяемых в севообороте с сахарной свеклой, на плодородие чернозема выщелоченного, урожайность и качество зерновых культур в Центральном Черноземье / Н. А. Куницын, О. А. Минакова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 6. – С. 14-18. – DOI: 10.31857/S250026272106003X.

98. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: учеб. пособие. – М.: Колос, 1973. – 336 с.

99. Lubkowski, K. Environmental impact of fertilizer use and slow release of mineral nutrients as a response to this challenge // Polish J. Chem. Technol. – 2016. – V. 18. – P. 72-79.

100. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China / W. F. Zhang, Z. X. Dou, P. He, X. T. Ju., et al // Proceed. Nat. Acad. Sci. USA. – 2013. – V. 110. – № 21. – P. 8375-8380.

101. Грабовец, А. И. Новые сорта озимой мягкой пшеницы – итог реализации разработок по селекции на продуктивность и адаптивность / А. И. Грабовец, М. А. Фоменко, Т. А. Олейникова, Е. А. Железняк // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 2. – С. 19-21. – DOI: 10.30850/vrsn/2021/2/19-23.

102. Айдиев, А. Я. Новые сорта зерновых культур как результат научной кооперации / А. Я. Айдиев, В. Т. Новикова., А. А. Емельянова, Е. В. Логвинова, С. А. Дугина // Земледелие. – 2020. – № 8. – С. 36–39. – DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10807.

103. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы / под общ. науч. ред. В. Ф. Федоренко, А. А. Завалина, Н. З. Милащенко. – М: Росинформагротех, 2018. – 395 с. – DOI: 10.25930/skc8-gc14.

104. Кирюшин, В. И. Состояние и проблемы развития адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. – 2021. – № 2. – С. 3-7. – DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10201.

105. Панфилов, В. А. Синергетический подход к проектированию сложных технологий АПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 2. – С. 4-7. – DOI: 10.30850/vrsn/2021/2/4-7.

106. Черкасов, Г. Н. Адаптивно-ландшафтное земледелие: теория и практика. – Курск: Изд-во ВНИИЗиЗПЭ, 2018. – 331 с.

107. Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe / S. Stein, H. Steinmann // European Journal of Agronomy. – 2018. – Vol. 92. – P. 30-40. – DOI: 10.1016/j.eja.2017.09.010. – URL: <https://daneshyari.com/en/article/5761202> (дата обращения 12.06.2023).

108. Лазарев, В. И. Агротехническая характеристика предшественников озимой пшеницы в Курской области / В. И. Лазарев, Р. И. Лазарева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 5. – С. 5-9.

109. Турусов, В. И., Оптимальные чередования сельскохозяйственных культур в севооборотах плакорных агроландшафтов юго-востока Центрально-Черноземного района / В. И. Турусов, В. М. Гармашов, О. А. Абанина, Т. И. Михина, Н. В. Дронова // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 2. – С. 54-57.

110. Дубовик, Д. В. Качество зерна озимой пшеницы в зависимости от агротехнических приемов возделывания в различных погодных условиях / Д. В. Дубовик, Д. Ю. Виноградов // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 2. – С. 30-32.

111. Effects of plant density on grain yield, protein size distribution, and breadmaking quality of winter wheat grown under two nitrogen fertilisation rates / Yu Zhang, Dai Xinglong, He Mingrong, et al. // European Journal of Agronomy. – 2016.

– Vol. 73. – P. 1-10. – DOI: 10.1016/j.eja.2015.11.015. – URL: <https://www.docin.com/p-1675329533.html> (дата обращения 02.08.2023).

112. Киржниц, Д. А. Черные дыры, термодинамика, информация / Д. А. Киржиц, В. П. Фролов // Природа. – 1981. – № 11. – С. 214.

113. Тарасов, А. В. Мир, построенный на вероятности. – М.: Просвещение, 1984. – 191 с.

114. Энгельс, Ф. Анти-Дюинг. Переворот в науке, произведенный господином Евгением Дюингом. – М.: Политиздат, 1970. – 483 с.

115. Соколов, В. Е. Проблемы современной экологии / В. Е. Соколов, Ю. Г. Пузаченко // Природа. – 1987. – № 1. – С. 4-19.

116. Вавин, В. Г. Влияние полезащитных лесополос на фитосанитарное состояние посевов / В. Г. Вавин, С. В. Надеин // Земледелие. – 2004. – № 3. – С. 33-35.

117. Котлярова, Е. Г. Агроэкологическое обоснование эффективности ландшафтных систем земледелия в Центральном Черноземье: автореф. дис. ... д.-ра с.-х. наук / ВНИИЗ и ЗПЭ. – Курск, 2011. – 42 с.

118. Кудеяров, В. Н. Проблемы агрохимии и современное состояние химизации сельскохозяйственного производства в Российской Федерации / В. Н. Кудеяров, В. М. Семенов // Агрохимия. – 2014. – № 10. – С. 3-17.

119. Сычев, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования: уч. пособие. – М.: РАН, 2019. – 328 с.

120. Соколов, М. С. Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества (проблемно-аналитический обзор) / М. С. Соколов, Ю. Я. Спиридонов, Е. Ю. Торопова, А. П. Глинушкин, А. М. Семенов // Агрохимия. – 2018. – № 5. – С. 79-96.

121. Масютенко, Н. П. К оценке здоровья почв по показателям их гумусного состояния // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сб. докладов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева». – Курск, 2023. – С. 192-196.

122. Кирюшин, В. И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. – 2018. – № 3. – С. 3-7.

123. Завалин, А. А. Современное состояние проблемы азота в мировом земледелии / А. А. Завалин, Г. Г. Благовещенская, Н. Я. Шмырева, Л. С. Чернова и др. // Агрохимия. – 2015. – № 5. – С. 83-95.

124. Пуляркин, А. В. Агроресурсы и продовольственная проблема / А. В. Пуляркин, Т. К. Власова // Природа. – 1991. – № 7. – С. 3-10.

125. Нечаева, Н. Т. Пути улучшения пустынных пастбищ Средней Азии / Н. Т. Нечаева, З. Ш. Шамсутдинов, З. М. Мухамедов // Природа. – 1981. – № 2. – С. 40-53.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Образец паспортной ведомости полей и участков (*название сельхозпредприятия, район, область*)

№ поля	Площадь поля, га	№ участка	Площадь участка, га	Тип (подтип) почвы*	Гранулометрический состав	Гумус, %	N щ.г.	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH ксl
							мг/кг			
Зернопаропропашной севооборот №1, площадь 1868,3 га. Средний размер поля 207,6 га										
1	243,0	6	66,5	Чт.	тяжелосуглинистый	6,1	112	163	99	6,2
		8	110,7	Чв.	среднесуглинистый	5,9	124	163	101	6,1
		9	65,8	Чв, Чт	тяжелосуглинистый	5,8	107	169	117	5,9
2,3,4,5,6,7,8										
9	217,8	66	137,1	Чт. Чв.	тяжелосуглинистый	6,6	121	59	72	5,7
		70	80,7	Чт.	тяжелосуглинистый	6,8	130	81	79	5,2
Почвозащитный севооборот № 4, площадь 69,3 га. Средний размер поля 23,1 га										
1	20,2	76	20,2	Тс	среднесуглинистый	3,5	82	156	82	5,2
2	23,8	78	23,8	Чв	среднесуглинистый	3,5	82	150	85	5,2
3	25,3	79	25,3	Чт	тяжелосуглинистый	3,8	105	133	89	5,9

* Чт – чернозем типичный; Чв – чернозем выщелоченный; Тс – темно-серая.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Типичные варианты установления специализации в зависимости от сочетания угодий, рельефа и организационных условий

Доля в землепользовании, %		Доля пашни до 3°, %	Особенности организационных условий	Специализация хозяйств	Специализация полеводства (преимущественное возделывание)
пашни	кормовых угодий				
1	2	3	4	5	6
80...90	15...0,0	>85	Фермерские хозяйства без животноводства, пашни ≈ >1000 га	Производство продовольственного зерна	Озимые зерновые, пивоваренный ячмень, крупяные, горох (пищевые сорта), возможны масличные
80...90	15...0,0	>85	То же вблизи птицефабрик и свинокомплексов	Производство фуражного зерна	Ячмень, зернобобовые, тритикале и кормовые сорта озимых
80...90	15...0,0	>85	Вблизи сахарных заводов и свекловичных пунктов	Свекловодческая	Сахарная свекла, озимые зерновые, возможно горох, ячмень (или) кукуруза
80...90	15...0,0	>85	Удаленность от городов и перерабатывающих предприятий	Многоотраслевая	Зерновые, кормовые, масличные,
80...90	15...0,0	>85	То же без животноводства	Зерносвекловичная	Зерновые, сахарная свекла, возможны соя и подсолнечник
80...90	15...0,0	>85	В пригородной зоне	Производство молока и говядины	Кукуруза и травы, кормовые корнеплоды, зерновые, возможны сахарная свекла и картофель

Продолжение приложения Б

1	2	3	4	5	6
80...90	15...0,0	>85	Крупные птицефабрики и свинокомплексы	Производство свинины и продукции птицеводства	Зернофуражные (кукуруза, ячмень) и зернобобовые, озимые зерновые (кормовые сорта)
80...90	15...0,0	>85	То же при незначительной площади землепользования	То же	Культуры на зеленый и витаминный корм
80...90	15...0,0	<65	Вблизи сахарных заводов при неразвитом животноводстве	Зерносвекловичная	Озимые и горох, сахарная свекла, колосовые зерновые, крупяные
80...90	15...0,0	<65	То же при наличии животноводства	Многоотраслевая	Зерновые и сахарная свекла, травы и кукуруза
80...90	15...0,0	<65	Удаленность от городов и перерабатывающий предприятий	Многоотраслевая	Зерновые и масличные, травы и кукуруза
80...90	15...0,0	<65	В пригородной зоне	Производство молока и говядины	Травы и кукуруза, зерновые, кормовые корнеплоды, масличные
80...90	15...0,0	<65	Крупные свинокомплексы и птицефабрики	Производство свинины и продукции птицеводства	Ячмень, овес, кукуруза на зерно, горох, тритикале и озимые (кормовые сорта), масличные
80...90	15...0,0	<65	Хозяйства вблизи свинокомплексов и птицефабрик	Производство фуражного зерна	То же

Окончание приложения Б

1	2	3	4	5	6
65...75	30...20	>85	Вблизи сахарных заводов и свекловичных пунктов	Многоотраслевая	Сахарная свекла, зерновые и зернобобовые, кукуруза, масличные
65...75	30...20	>85	Удаленность от городов и перерабатывающий предприятий	То же	Зерновые и зернобобовые, кукуруза, масличные
65...75	30...20	>85	В пригородной зоне	Производство молока и говядины	Кукуруза, зерновые и масличные, сахарная свекла и кормовые корнеплоды
65...75	30...20	>85	Крупные свинокомплексы и птицефабрики	Производство свинины и продукции птицеводства	Зернофуражные (кукуруза, ячмень), тритикале и озимые (кормовые сорта), масличные
65...75	30...20	<65	Удаленность от городов и перерабатывающий предприятий	Скотоводческая	Зерновые, травы, масличные
65...75	30...20	<65	В пригородной зоне	Производство молока и говядины	Зерновые, кормовые корнеплоды, кукуруза, травы
65...75	30...20		Вблизи сахарных заводов и свекловичных пунктов	Многоотраслевая	Зерновые и зернобобовые, сахарная свекла, масличные, травы

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Изменение способов и целей ведения полеводства в ходе развития систем земледелия

Системы земледелия	Использование пахотно-пригодной земли	Разнообразие культур	Регулирование плодородия	Экологическая безопасность	Методы и цели ведения полеводства
1	2	3	4	5	6
Залежная	меньшая часть	преобладают зерновые	природные процессы	низкая	эмпирический наблюдательный для получения урожая при меньших затратах
Переложная	то же	то же	то же		то же
Подсечно-огневая и лесопольная	- -	- -	- -	низкая	- -
Паровая многопольно-травяная	половина или большая часть	низкое	направляемые земледельцем природные процессы	низкая	использование эмпирических наблюдений для увеличения сборов зерна в связи с ростом численности населения
Улучшенные зерновые	< 100 %	50...70 % зерновых и от 15 до 25 % ч. пара, 20-30 % мн. трав или 15-20 % пропашных, зернобобовых и крупяных	воздействие земледельца на природные процессы	умеренная	то же (с усилением планирования)

Продолжение приложения В

1	2	3	4	5	6
Плodosменная, в т.ч. травопольная**	≈ 100 %	достаточное	природные процессы, органические и минеральные удобрения	достаточная	копирование обоснованных экспериментом и практикой севооборотов для достижения высокого хозяйственного эффекта
	то же	достаточное и дифференцированная в ландшафте	то же	достаточная	
Зональные по принципу плодосмена различной степени (в зависимости от климата) интенсивности	≥ 100 %	достаточное с позиций климата и почв	активное воздействие промышленными средствами	достаточная	проектирование путем модификации экспериментально установленных схем севооборотов для восполнения планов производства продукции
Адаптивно- ландшафтные	≥ 100 % при соотношении земельных угодий, обеспечивающих стабилизацию агрландшафта	достаточное в связке со специализацией и дифференцированное в агроландшафте	управление вещественно энергетическими потоками посредством сочетания биологических и химических удобрительных средств при обязательном соблюдении закона возврата	высокая с позиции землепользования (соотношение угодий, система севооборотов)	устойчивый рост производства продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества на основе проектирования с использованием комплекса методов

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Ежегодные прогнозы урожайности на основе расчёта баланса влаги в поле № 1 стационарного опыта

Год	Культура	Вк*, мм	Вв, мм	Осл, мм	М, мм	Кр	Р, мм	Е, ГДж	Ур1, т/га	Ур4, т/га	$\frac{Ур1 - Уф1}{Ур1}, \%$	$\frac{Ур4 - Уф4}{Ур4}, \%$
Зернопаропропашной севооборот												
2016	Чёрный пар	100	214	245	459	0,56	259	-	-	-	-	-
2017	Озимая пшеница	200	264	173	437	0,72	315	178	4,46	5,34	5,1	-8,6
2018	Сахарная свекла	122	216	221	437	0,90	393	223	37,9	41,7	9,2	1,7
2019	Кукуруза на силос	44	186	184	370	0,75	278	157	29,9	33,0	-6,0	-2,4
2020	Ячмень	92	230	180	410	0,67	275	156	3,74	4,52	28,3	-19,4
2021	Чёрный пар	135	235	245	480	0,56	269	-	-	-	-	-
2022	Озимая пшеница	211	275	230	505	0,72	363	206	5,15	5,54	-8,9	-22,3
Сидеральный севооборот												
2016	Сидеральный пар	100	214	71	285	0,57	162	92	16,5	17,5	3,6	2,9
2017	Озимая пшеница	111	211	173	384	0,72	276	157	3,92	4,70	-3,0	-18,5
2018	Сахарная свекла	108	233	213	446	0,90	401	226	38,7	42,3	4,9	-8,5
2019	Кукуруза на силос	45	187	184	371	0,75	278	158	30,0	33,1	-6,0	-2,7
2020	Ячмень	93	221	180	401	0,67	269	152	3,66	4,40	24,3	24,0
2021	Сидеральный пар	132	233	90	323	0,57	184	104	18,8	19,8	1,0	3,5
2022	Озимая пшеница	139	236	230	466	0,72	336	191	4,76	5,73	-17,4	-23,5
Плодосменный севооборот												
2016	Бобы на зерно	100	214	147	361	0,62	224	123	2,21	2,34	-5,4	-6,8
2017	Озимая пшеница	137	223	173	396	0,72	285	162	4,04	4,86	5,7	2,7
2018	Сахарная свекла	111	216	213	426	0,90	383	217	37,0	40,7	8,1	-0,5
2019	Люпин на зерно	43	186	140	326	0,62	202	115	2,06	2,19	-9,7	-20,5
2020	Ячмень	124	246	180	426	0,67	285	162	3,89	4,69	31,3	27,9
2021	Бобы на зерно	140	237	163	400	0,62	248	141	2,53	2,67	-12,6	-14,6
2022	Озимая пшеница	132	220	230	450	0,72	324	184	4,59	5,52	18,3	-4,0

*после уборки предшественника

Продолжение приложения Г

Ежегодные прогнозы урожайности на основе расчёта баланса влаги в поле № 5 стационарного опыта

Год	Культура	Вк*, мм	Вв, мм	Осл, мм	М, мм	Кр	Р, мм	Е, ГДж	Ур1, т/га	Ур4, т/га	$\frac{Ур1 - Уф1}{Ур1}, \%$	$\frac{Ур4 - Уф4}{Ур4}, \%$
Зернопаропропашной севооборот												
2016	Ячмень	78	203	142	345	0,67	231	131	3,14	3,60	24,8	17,5
2017	Чёрный пар	114	212	250	462	0,56	259	-	-	-	-	-
2018	Озимая пшеница	162	245	185	430	0,72	310	176	4,38	5,28	10,7	-8,7
2019	Сахарная свекла	120	205	190	395	0,90	356	202	34,3	37,8	3,5	-10,5
2020	Кукуруза на силос	39	204	237	441	0,75	341	193	36,8	40,6	-4,3	-4,6
2021	Ячмень	100	217	150	367	0,67	244	139	3,33	4,03	-9,4	-9,0
2022	Чёрный пар	103	225	260	485	0,56	272	-	-	-	-	-
Сидеральный севооборот												
2016	Ячмень	82	207	142	357	0,67	239	136	3,18	3,04	25,1	0,0
2017	Сидеральный пар	114	212	132	344	0,57	202	114	20,6	21,7	0,0	3,7
2018	Озимая пшеница	152	240	185	425	0,72	299	169	4,23	5,07	8,0	-2,0
2019	Сахарная свекла	126	218	190	408	0,90	367	208	35,4	37,1	5,6	-18,8
2020	Кукуруза на силос	41	205	237	442	0,75	339	192	36,5	40,4	-4,1	-4,9
2021	Ячмень	102	217	150	367	0,67	246	139	3,34	4,03	30,7	-4,2
2022	Сидеральный пар	120	224	100	324	0,57	185	105	18,9	20,0	16,4	19,0
Плодосменный севооборот												
2016	Ячмень	92	223	142	365	0,67	245	139	3,34	4,03	11,0	21,0
2017	Бобы на зерно	122	216	180	396	0,62	246	139	2,50	2,64	14,4	1,9
2018	Озимая пшеница	132	230	185	415	0,72	299	169	4,23	5,07	33,5	24,1
2019	Сахарная свекла	116	220	190	410	0,90	352	200	33,9	35,6	2,3	-7,3
2020	Люпин на зерно	58	196	195	391	0,62	242	137	2,47	2,60	-1,6	0,0
2021	Ячмень	104	227	150	377	0,67	252	143	3,44	4,15	0,0	-2,1
2022	Бобы на зерно	120	220	180	400	0,57	228	129	2,32	2,46	-7,7	-4,5

* после уборки предшественника

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Эффективные чередования основных культур в севооборотах Центрального Черноземья в зависимости от производственного направления сельхозпредприятий

Предшественники*	Центральные культуры в звеньях	Последующие культуры
Независимо от специализации:		
1. Черный пар 2. Сидеральный пар 3. Занятый пар 4. Горох	Озимые зерновые	1) сахарная свекла 2) подсолнечник 3) кукуруза на зерно 4) масличные крестоцветные
Свекловодческое и зерносвекловичное направление:		
Озимая пшеница после: 1. сидерального пара 2. черного пара 3. зернобобовых и однолетних трав	Сахарная свекла	1) зернобобовые 2) крупяные 3) однолетние травы 4) кукуруза на силос 5) ячмень
Зернофуражное и молочно-скотоводческое направление:		
1. Зернобобовые 2. Многолетние травы 3. Кукуруза на силос 4. Масличные крестоцветные	Ячмень	1) сидеральный пар 2) кукуруза на силос 3) зернобобовые 4) подсолнечник
1. Зернобобовые 2. Озимая пшеница 3. Ячмень 4. Кукуруза на силос	Кукуруза на зерно	1) черный и занятый пары 2) кукуруза на силос 3) зернобобовые 4) кукуруза на зерно
1. Озимые зерновые 2. Кормовые корнеплоды 3. Кукуруза на зерно 4. Подсолнечник	Кукуруза на силос	1) однолетние травы** 2) ячмень** 3) ячмень 4) кукуруза на зерно
1. Однолетние травы** 2. Ячмень**	Многолетние травы	1) озимые зерновые 2) ячмень

* предпочтительность предшественников и последующих культур убывает в возрастающем порядке;

** покровные культуры.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Принципиальные условия для взаимосвязи роста продуктивности пашни с воспроизводством плодородия почв

Показатели	Производственное направление		
	свекловодство	производство свинины и продуктов птицеводства	производство молока и говядины
Агроландшафтное основание для специализации	доля пашни в землепользовании > 70 %, в т. ч. до 3° ≥ 70%	доля пашни до 3° ≥ 70%	ограничений нет*
Значимые звенья узкоспециализированных севооборотов на пашне до 3°	Сидеральный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – зернобобовые, кукуруза на силос, ячмень	Горох – озимые зернофуражные – кукуруза на зерно. Зернобобовые – ячмень – кукуруза на зерно. Зернобобовые – кукуруза на зерно – сидеральный пар	Многолетние травы** – озимые зерновые – корнеплоды – кукуруза на силос. Кукуруза – однолетние травы - многолетние травы
Удобрительные средства	1. Минеральные удобрения 2. Навоз 3. Зеленое удобрение 4. Побочная продукция	1. Навоз 2. Минеральные удобрения 3. Симбиотическая азотфиксация 4. Побочная продукция 5. Зеленое удобрение	1. Симбиотическая азотфиксация 2. Навоз. 3. Минеральные удобрения 4. Отава на сидерат 5. Побочная продукция

* благодаря возможности варьирования долей кукурузы на силос и многолетних трав в структуре кормового клина;

** под покров однолетних.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Примерная структура посевных площадей по природно-ресурсным подзонам Центрального Черноземья

Культура	Природно-ресурсные подзоны														По Центральному Черноземью	
	I		II		III		IV		V		VI		VII		%	тыс. га
	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га		
1. Озимые зерновые	21,5	107,5	20,5	743,3	20,0	398,6	20,0	333,2	20,5	201,5	22,0	297,2	23,0	85,3	20,7	2171,6
2. Ячмень	15,0	75,0	14,5	525,8	13,5	269,1	13,5	224,9	10,0	98,3	10,0	135,1	10,0	37,1	13,0	1363,8
3. Кукуруза на зерно	2,5	12,5	3,5	126,9	4,5	89,7	6,0	100,0	7,0	68,8	8,0	108,1	8,0	29,7	5,1	535,7
4. Крупяные	5,0	25,0	5,0	181,3	4,0	79,3	2,5	41,7	3,0	29,5	4,0	54,0	4,0	14,8	4,1	425,6
5. Зернобобовые	10,0	50,0	9,0	326,3	9,0	179,4	9,0	149,9	8,0	78,6	8,0	108,1	8,0	29,7	8,8	922,0
6. Сахарная свекла	5,0	25,0	6,0	217,6	9,0	179,4	7,0	116,2	6,0	59,0	6,0	81,1	1,5	5,6	6,5	683,9
7. Подсолнечник	2,5	12,5	4,0	145,0	4,5	89,7	6,0	100,0	7,0	68,8	7,5	101,3	7,5	27,8	5,2	545,1
8. Многолетние травы	14,5	72,5	13,5	489,5	11,5	229,2	14,5	241,6	21,5	210,4	15,5	209,4	20,0	74,2	14,6	1526,8
9. Кукуруза на силос	7,5	37,5	7,5	272,0	8,0	159,4	7,5	125,0	4,0	39,3	5,0	67,6	4,0	14,8	6,8	715,6
10. Однолетние травы	4,0	20,0	4,0	145,0	7,0	79,7	2,5	41,7	2,5	24,6	4,0	54,0	3,0	11,1	3,5	376,1
11. Пар черный	3,0	15,0	4,0	145,0	4,0	79,7	3,0	50,0	2,0	19,7	3,5	47,3	6,0	22,3	3,6	376,0
12. Пар сидеральный	4,0	20,0	4,0	145,0	5,0	99,7	5,0	83,3	5,0	49,2	3,5	47,3	2,0	7,4	4,3	451,9
13. Картофель и овощи	3,5	17,5	3,0	108,8	1,5	29,9	1,5	25,0	1,5	14,7	1,5	20,3	1,5	5,6	2,1	221,8
14. Прочие	2,5	12,5	1,5	54,0	1,5	29,9	2,0	33,3	2,0	19,7	1,5	20,3	1,5	5,6	1,7	175,3
Вся пашня	100	502,5	100	3625,4	100	1992,7	100	1665,8	100	982,1	100	1351,1	100	371,0	100	10490,6

Научное издание

Акименко, А. С. Севооборот – основа согласования хозяйственных и экологических целей. Приглашение к размышлению [Текст]: монография / А. С. Акименко. – Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2024. – 185 с.: 16 ил., 32 табл., 7 прил.

Сдано в набор 04.03.24 г. Подписано в печать 11.03.24 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 10,75. Тираж 500 экз. Заказ № 45.
Отпечатано: «Деловая полиграфия»
ИП Бескровный Александр Васильевич
г. Курск, ул. К. Маркса, 61 Б.
E-mail: zakaz-zachetka@mail.ru



**КУРСКИЙ
ФАНЦ**



**ФГБНУ
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»**

305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 706

Телефон: (4712) 53-42-56, факс: 53-67-29

E-mail: kurskfarc@mail.ru

ISBN 978-5-6051166-5-3



9 785605 116653 >