

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Толмачева Алла Викторовна

УДК 633.34:551.5

**АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ
СОИ В УКРАИНЕ**

11.00.09 – метеорология, климатология, агрометеорология

ДИССЕРТАЦИЯ

**на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Научный руководитель:
Полевой Анатолий Николаевич,
доктор географических наук,
профессор

Одесса – 2015

СОДЕРЖАНИЕ	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ I. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРЫ	
СОИ.....	11
1.1. Ботаническое описание сои.....	11
1.2. Требования сои к свету и теплу.....	14
1.3. Требования сои к влаге.....	17
1.4. Требование сои к почвам и элементам питания.....	19
1.5. Особенности роста и развития сои.....	22
1.6. Характеристика возделываемых сортов.....	23
РАЗДЕЛ 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
ВЛИЯНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА	
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ.....	
2.1. Условия проведения эксперимента.....	35
2.1.1. Краткая физико-географическая характеристика района проведения экспериментальных работ.....	35
2.1.2. Методика проведения полевого опыта.....	37
2.1.3. Агrometeorological условия в годы проведения опыта.....	42
2.2. Влияние факторов внешней среды на морфогенез и фотосинтетическую продуктивность сои.....	52
2.2.1. Динамика биомассы отдельных органов растений.....	52
2.2.2. Анализ динамики площади листовой поверхности и основных показателей фотосинтетической продуктивности посевов сои.....	60
РАЗДЕЛ 3. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ	
ПРОДУКТИВНОСТИ СОИ.....	
3.1. Современное состояние моделирования формирования	74

продуктивности сои.....	74
3.2. Принципы построения модели.....	82
3.3. Концепция моделирования.....	85
3.4. Блок входной информации.....	88
3.5. Блок показателей солнечной радиации.....	88
3.6. Блок водного режима и орошения.....	89
3.7. Блок функций влияния фазы развития и метеорологических факторов на продукционный процесс растений...	90
3.8. Блок плодородия почвы и обеспеченности растений минеральным питанием.....	92
3.9. Блок агроэкологических категорий урожайности.....	95
3.10. Блок созревания.....	97
3.11. Блок обобщенных оценочных характеристик.....	97
3.12. Идентификация параметров модели и проверка ее адекватности.....	99
РАЗДЕЛ 4. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СОИ В УКРАИНЫ.....	103
4.1. Влияние агроклиматических условий на динамику приростов агроэкологических категорий урожайности в Полесье.....	104
4.2. Агроклиматические условия и динамика приростов агроэкологических категорий урожайности в Лесостепи.....	110
4.3. Динамика приростов агроэкологических категорий урожайности и агроклиматические условия в Северной Степи.....	115
4.4. Влияние агроклиматических условий на динамику приростов агроэкологических категорий урожайности в Южной Степи.....	121
РАЗДЕЛ 5. ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ УКРАИНЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КУЛЬТУРЕ СОИ.....	128

5.1. Почвенно - агроклиматические ресурсы возделывания сои в Украине.....	129
5.2. Агроэкологические категории урожайности.....	133
5.3. Комплексные оценки агроклиматических ресурсов Украины.....	140
5.4. Оценка влияния изменений климата и норм орошения на продуктивность сои.....	144
5.4.1. Сравнительная характеристика продуктивности сои в Херсонской области по сценарию изменения климата А1В (2011-2030 гг.).....	145
5.4.2. Сравнительная характеристика продуктивности сои в Херсонской области по сценарию изменения климата А1В (2031-2050 гг.).....	155
ВЫВОДЫ.....	168
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	172

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Зернобобовые культуры играют важную роль в сельскохозяйственном производстве. Среди зернобобовых культур в Украине, одной из наиболее распространенной и имеющей разностороннее применение является соя. За последние десятилетия в Украине растет интерес к сое во всех почвенно-климатических зонах, расширяется соевое поле, она полноправна включается в севообороты основных земледельческих регионов. Может выращиваться в основных весенних послеуборочных и после пожнивных посевах, и как страховая культура при пересеве озимых, которые погибли в период зимовки.

Соя – уникальная белковая и масличная культура мирового растениеводства. В зависимости от сорта и условий выращивания в семенах ее содержится 36-48% белка и 17-26% масла. По количеству и качеству содержащихся в сое полезных веществ ей нет равных среди всех полевых сельскохозяйственных культур. Главные из них: богатство и разнообразие химического состава семян и вегетативной массы, высокое качество продукции и возможность универсального использования ее в пищевых, целебных, кормовых, технических и агротехнических целях. Помимо масла, основными пищевыми продуктами, вырабатываемыми из сои являются: соевое молоко, тофу, окара, текстурированный соевый белок (ТСБ), соевые изоляты и другие. Из семян сои получают продукты для изготовления нескольких сот разнообразных изделий [9, 10, 54, 114].

В мировой практике соевое зерно в основном используется для переработки на масло, а шрот и жмых – для кормовых целей как ценные высокобелковые добавки к комбикормам. На корм скоту может также использоваться и зеленая масса сои, как для непосредственного скармливания, так и для заготовок силоса, сена, сенажа, травяной муки, гранул. Соевая солома, содержащая в 1ц около 3% белка и 30 кормовых единиц, является также хорошим кормом. Из нее можно делать кормовую муку, гранулы или

смешанный (с ботвой сахарной свеклы или зеленой массой кукурузы) силос. В пищевой промышленности широко применяется обезжиренная соевая мука для приготовления хлебобулочных, крупяных и кондитерских изделий. Соевое масло находит также применение в мыловаренной и лакокрасочной промышленности. Белковые соевые изоляты потребляются в текстильной, парфюмерной, фармацевтической, бумажной промышленности и для других технических целей. Все это обуславливает большое народнохозяйственное значение сои [8, 19, 32, 34, 61, 69].

Основные посевы размещены на Северном Кавказе, Дальнем Востоке, в Поволжье, на Украине, в Молдове, в Средней Азии. За границей основное производство размещено в странах Америки, Бразилии, Китае, Индии, Центральной и Южной Африке, Австралии, на островах Тихого и Индийского океанов. За последние 50 лет посевы сои в мире увеличились с 23,8 до 102,4 млн. га, а урожайность – с 16,8 до 27,5 ц/га, валовый сбор – с 26,9 до 269 млн. т. [10].

В Украине соя наиболее распространена в Лесостепи и Степи, однако в последние годы сою стали выращивать и в Полесье. Средняя урожайность сои колеблется от 15,9 ц/га до 23,7 ц/га. При этом соя при выращивании по технологии с использованием биологических препаратов дает урожайность на треть большую и в среднем по стране составляет 26,4 ц/га, а при орошении на юге Украины – 34,6 ц/га.

По данным Министерства аграрной политики и продовольствия Украины в 2014 году сои собрано 3,778 млн. тонн с площади 1,772 млн. га (99%) при средней урожайности 21,3 ц/га.

Выведение новых сортов нуждается в изучении не только агротехнических приемов возделывания, но и в познании физиологических процессов, особенно фотосинтеза, поскольку в нем создается свыше 90% сухой массы растений.

Вот почему в настоящее время появилась острая необходимость во всестороннем изучении условий возделывания сои.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Тема диссертационной работы соответствует основным направлениям научной деятельности кафедры агрометеорологии и агрометеорологических прогнозов Одесского государственного экологического университета и выполнялась в рамках следующих научно-исследовательских тем: «Оцінка впливу екстремальних атмосферних явищ на окремі галузі економіки України в умовах змін клімату» (державний реєстраційний номер 0111U000593); «Розробка методу оцінки агрометеорологічних умов формування продуктивності та прогнозу урожайності кукурудзи в Україні» (державний реєстраційний номер 0113U008064); «Вразливість та адаптація галузей економіки України до змін клімату» (державний реєстраційний номер № 0113U000165).

Цель и задачи исследования. Целью исследования являлась оценка влияния агрометеорологических условий на фотосинтетическую продуктивность сои и оценка агроклиматических условий возделывания сои в Украине.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- экспериментально оценить влияние агрометеорологических условий на продуктивность сои;
- модифицировать и адаптировать применительно к культуре сои базовую модель оценки агроклиматических ресурсов;
- оценить агроэкологические категории урожайности сои в связи с агроклиматическими ресурсами почвенно-климатических зон Украины;
- выполнить комплексную оценку агроклиматических условий возделывания культуры в Украине;
- выполнить оценку фотосинтетической продуктивности орошаемой сои в условиях климатических изменений.

Объект исследования. Агроклиматические условия возделывания сои в Украине.

Предмет исследования. Закономерности влияния агроклиматических условий на формирование продуктивности сои.

Методы исследования. Работа выполнялась на основании комплексного подхода с использованием экспериментально-полевого метода исследований и аппарата математического моделирования продукционного процесса растений.

В качестве исходной информации использовались данные собственных полевых экспериментов и данные наблюдений на сети гидрометеорологических станций Управления гидрометеорологии Государственной службы по чрезвычайным ситуациям Украины; сведения из «Агрокліматичного довідника по території України (середні обласні показники 1986-2005 рр.)»; данные государственных сортоиспытательных участков.

Научная новизна. Научная новизна полученных результатов состоит в оценке агроклиматических условий возделывания сои в Украине:

Впервые:

- модифицирована и адаптирована базовая модель оценки агроклиматических ресурсов применительно к возделыванию сои в Украине;
- установлены закономерности влияния агрометеорологических условий на фотосинтетическую продуктивность сои;
- установлены пространственные закономерности изменчивости уровней агроэкологических категорий урожайности сои;
- дана комплексная оценка агроклиматическим ресурсам возделывания культуры в Украине;
- установлена изменчивость фотосинтетической продуктивности сои при орошении в условиях изменения климата.

Усовершенствован:

- метод расчета трех фаз созревания семян сои при моделировании агроклиматических ресурсов возделывания этой культуры.

Получил дальнейшее развитие:

- метод определения термических характеристик вегетационного периода сои.

Практическое значение полученных результатов. Установленные закономерности влияния агрометеорологических условий на фотосинтетическую продуктивность сои будут использованы при оперативном агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства подразделениями Управления гидрометеорологии Государственной службы по чрезвычайным ситуациям Украины.

Комплексные оценки агроклиматических ресурсов Украины будут использованы как теоретическая основа рекомендаций при размещении посевов сои в Украине.

Личный вклад соискателя. Экспериментально исследованы и установлены закономерности влияния агрометеорологических условий на фотосинтетическую продуктивность растений сои. Модифицирована и адаптирована базовая агроклиматическая модель относительно данной культуры. Установлены закономерности влияния агроклиматических ресурсов на формирование различных уровней агроэкологических категорий урожайности сои; дана комплексная оценка агроклиматическим ресурсам Украины; выполнена оценка фотосинтетической продуктивности орошаемой сои в условиях изменений климата.

Апробация результатов диссертационного исследования и публикации. Основные результаты диссертационного исследования были представлены на десяти научных конференциях. Среди них: научные конференции молодых ученых ОГЭКУ (г. Одесса, 2011-2014 гг.); международная научная конференция студентов и молодых ученых «Актуальні проблеми сучасної гідрометеорології» (г. Одесса, 2012 г.); II международная конференция «Молодь у вирішенні екологічних та соціально-економічних проблем сьогодення» (г. Одесса, 2013 г.); международные научно-практические конференции «Актуальні питання сучасної аграрної науки» (г. Умань, 2013-2014 г.); XVI міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (г. Киев, 2014 г.); международная научная конференция студентов и молодых ученых

«Современная гидрометеорология: актуальные проблемы и пути их решения» ОДЕКУ (г. Одесса, 2014 г.). Расширенные научные семинары кафедры агрометеорологии и агрометеорологических прогнозов ОГЕКУ (г. Одесса, 2011 - 2014 гг.).

Публикации. Результаты научных разработок по теме диссертационной работы опубликованы в 16 научных статьях, из них: пять статей в рекомендованных ДАК изданиями Украины, одна статья в зарубежном издании, десять тезисов докладов в сборниках материалах отечественных и международных конференциях.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованной литературы. Общий объем составляет 186 страниц, содержит 47 рисунков, 9 таблиц. Список использованной литературы состоит из 161 наименований на 15 страницах.

РАЗДЕЛ 1

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРЫ СОИ

Самой популярной зернобобовой культурой на сегодняшний день, является соя. О ней можно прочесть в газетах, много говорят по телевидению, а также ей посвящены страницы Интернета. Соя действительно занимает первое место среди зернобобовых и масличных культур, возделываемых на нашей планете. Ее успешное продвижение по миру обусловлено как ее огромными возможностями для питания человека и животных, так и агрономическими и даже экологическими преимуществами по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами. Последнее чрезвычайно важно, поскольку мир сейчас озабочен ресурсосберегающими и экологически устойчивыми сельскохозяйственными технологиями и соя, наряду с другими зернобобовыми культурами, должна сыграть в них одно из лидирующих мест. Благодаря своей исключительной пищевой ценности, уникальному набору биологически активных веществ и многочисленным возможностям переработки, соя может активно участвовать в решении актуальных проблем питания и здоровья человека [22].

Соя уже много веков является стратегической культурой мирового земледелия. Это уникальная кормовая, продовольственная, лекарственная и техническая культура. Соя — растение зернобобовое, любит тепло и влагу, формирует большую вегетативную массу, дает ценный урожай бобов [151].

1.1. Ботаническое описание сои

Соя относится к роду *Glycine* L., семейству Бобовых (*Leguminosae*), подсемейства Мотыльковые (*Papilionoideae*). Согласно П.М. Жуковскому [30], этот род состоит более чем из сорока видов, половина из которых эндемичны для тропической Африки. Формообразовательный процесс, согласно

Н.И. Корсакову [43], осуществлялся в трех центрах: тропической Африке, Юго-Восточной Азии и Австралии. Это многолетние виды со стелющимися, вьющимися и редко прямостоячими стеблями. Один из диких видов – соя уссурийская растет в России на Дальнем Востоке как сорняк и называется «амурский бобик». В Приморье естественные заросли дикой сои повсеместны и в тихий осенний вечер слышен легкий шелест растрескивающихся бобов. У этой дикарки много ценных качеств, которые путем гибридизации переданы культурной сое. Многие продуктивные, скороспелые и высокобелковые сорта сои обязаны этими качествами своему дикому сородичу. Еще в 1930 году И.В. Мичурин, скрещивая дикую уссурийскую сою с культурной, создал гибридный выносливый и скороспелый сорт сои. В настоящее время производственные посевы представлены общепринятым в мире ботаническим наименованием культурной сои (*Glycine max* (L) Merrill) [22, 53, 119].

Культурная соя – однолетнее травянистое растение. *Корневая система* стержневая с грубым, сравнительно коротким главным корнем и многочисленными длинными боковыми корнями. Корневая система развивается в основном в пахотном слое на глубине до 30 см, но отдельные корни достигают глубины до 2 м и более, что определяется плотностью и влажностью почвы. Тонкие боковые корни составляют около 60% от массы всей корневой системы и играют важную роль во впитывании почвенного раствора. Корневые волоски у сои очень короткие. На поперечном срезе корня видны эпидермис, кора, эндодерма, сосудисто-волокнистые пучки, первичная флоэма, первичная и вторичная ксилема.

Через 7-10 дней после появления всходов на главном и боковых корнях сои начинают формироваться клубеньки, что обусловлено внедрением клубеньковых бактерий-ризобий, которые проникают в корни, через корневые волоски. В месте проникновения бактерий образуются клубеньки, в которых образуется свободный азот из воздуха. Соя использует азотистые соединения из клубеньков, а бактерии получают от растения необходимые для своего существования углеводы [54, 93].

Стебель у сои грубый, цилиндрический, высотой от 15 см до 2 м и более. Толщина стебля у основания до 22, в середине – 4-12 мм. Длина междоузлий 3-15 см, число ветвей 2-5, хотя встречаются и более ветвистые формы. Стебель обычно прямостоячий, но бывают стелющиеся и вьющиеся формы. Все части стебля сои покрыты волосками белого или рыжего цвета разных оттенков и интенсивности. В период вегетации стебель зеленого цвета с антоциановой окраской некоторых частей. При созревании он желтеет, становится коричневым или серо-черным. Кусты в зависимости от угла отхождения ветвей бывают сжатые, полусжатые и широкие. Количество ветвей чаще всего от двух до пяти. Толщина и высота стебля, а также число и длина междоузлий – изменчивые признаки, зависящие от сорта и от условий выращивания: температуры, света, влажности и содержания питательных веществ в почве.

Листья сложные тройчатые, цельнокрайние, расположены по одному на каждом узле, последовательно. Форма листочков различная: овальная, ланцетообразная, округлая, сердцевидная. Первые два примордиальных листа простые и расположены в узле супротивно. Поверхность листа обычно гладкая, реже – морщинистая, с обеих сторон покрыта густыми волосками. При созревании у большинства сортов листья опадают.

Цветки мелкие, пятилепестковые, обычно без запаха, собраны в короткую малоцветковую или длинную многоцветковую кисть, расположенную в пазухах листьев. Количество цветков в кисти от 2 до 20. Окраска венчика у большинства сортов белая или фиолетовая. Тычинок десять. Сою относят к самоопыляющимся растениям. Перекрестное опыление встречается редко.

Бобы короткие, прямые или изогнутые, иногда серповидные, вздутые или плоские, с заостренным кончиком, содержащие 2-4 семени. Длина боба до 5 см. Окраска бобов различна: песочно-серая, светло-желтая, желтовато-коричневая иногда черная. Обычно они покрыты волосками. На растении бывает от 10 до 400 бобов. Высота прикрепления нижних бобов от 3-6 до 20-25 см. У скороспелых сортов бобы обычно расположены ниже, чем у средне- и

позднеспелых. Высота прикрепления нижних бобов увеличивается при загущенных посевах.

Семена сои шаровидные, овальные, плоскоокруглые. Масса 1000 семян колеблется в большинстве случаев от 100 до 250 г. Окраска семян желтая, светло-желто-зеленая, коричневая, черная, пестрая. Семядоли также разной окраски. Рубчик овальный, клиновидный или линейный. Окраска рубчика желтовато-белая, коричневая, темно-коричневая, черная [18, 33, 52, 54, 114].

Соя имеет свои характерные биологические особенности. Изучение этих особенностей является очень важной основой для исследования влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и формирование продуктивности сои.

1.2. Требования сои к свету и теплу

Соя является типичным растением короткого дня, поэтому свет играет в ее развитии важную роль. Увеличение светового дня замедляет развитие, отодвигает сроки зацветания, растягивает период цветения, приводит к сильному опадению цветков, удлиняет период вегетации. Уменьшение светового дня ускоряет цветение, сокращает вегетационный период. При продвижении в северные районы у нее значительно позже наступают цветение и созревание. Это является причиной того, что многие раннеспелые в южных районах сорта при посеве их в более северных не созревают, так как большинство сортов сои приспособлено к определенным широтным поясам. Проведены десятки исследований по изучению влияния длины дня на развитие сои. Длина дня оказывает влияние на продолжительность фаз развития, на высоту растения, на число междоузлий и на общую продуктивность растения. При выращивании в условиях длинного дня у нее сильно затягивается начало цветения, замедляется развитие, образуется мощная вегетативная масса и удлиняется общий период вегетации [24, 29, 51, 97]. Было установлено, что из всех растений короткого дня соя наиболее чувствительна к изменению длины

дня. Чтобы ускорить цветение, сое необходимо от 2 до 6 коротких дней, в то время как другим растениям короткого дня необходимо от 7 до 40 дней [9, 94].

Фотопериодическая реакция сои обусловлена происходящими в листьях изменениями, биохимическая сущность которых еще точно не установлена: какая длина дня оказывает большое влияние. Одни ученые объясняют явление фотопериодизма балансом углерода и азота, другие считают, что существует специальный гормон цветения, названном Чайлахяном флоригеном. Этот гормон вырабатывается в листьях сои и передвигается по живым тканям [99, 130, 146]. Многими учеными доказано, что для каждого сорта имеется критическая продолжительность фотопериода, при увеличении которого растение не будет формировать цветков, и останется в вегетативном состоянии. Как правило, скороспелые сорта реагируют на длину дня в меньшей степени, чем позднеспелые. Однако к настоящему времени селекционеры создали множество так называемых фотонейтральных сортов, то есть сортов, не реагирующих или слабо реагирующих на длину светового дня. Эти сорта созданы в условиях длинного дня. Поэтому чем севернее происхождение сорта, чем длиннее день, при котором он сформировался, тем он скороспелее и тем меньше его отзывчивость на длину светового дня. Сорта южного происхождения отзывчивы на длину дня [22, 38].

А.А. Кашманов [40] установил, что развитие сои зависит как от спектрального состава света, так и от его интенсивности. В период от появления всходов до цветения сое необходим солнечный свет высокой интенсивности с преобладанием коротковолновых лучей. В период формирования репродуктивных органов она положительно реагирует на солнечный свет слабой интенсивности с преобладанием длинноволновых лучей. После окончания цветения до созревания соя слабо реагирует на освещенность. Растение сои обладают высокой светочувствительностью. Имеются данные, что даже лунный свет, интенсивность которого очень незначительна, оказывает влияние на цветение сои. Для нормального развития растения сои нуждаются в освещенности не ниже 1076 лк. Эта величина

является для сои критической. При снижении интенсивности солнечного света на 50 % у растений сои образуется значительно меньше узлов, ветвей, бобов, а при усилении же уровня освещенности увеличивается число бобов, их масса, масса зрелых семян.

Помимо длины светового дня и интенсивности светового потока, на рост и развитие растений сои большое влияние оказывает спектральный состав света. В.И. Разумовым было установлено, что длинноволновые красные лучи задерживают цветение, коротковолновые ускоряют. На красном свете растения интенсивно растут, увеличиваются высота, число листьев и их площадь. При освещении синим светом растения низкорослые, со сближенными междоузлиями, листочки утолщенные. Однако нарастание органической массы происходит интенсивно. При зеленом свете задерживается формирование листьев, вытягиваются междоузлия, стебли становятся этиолированными, накопление органического вещества замедленно. Доказано, что проявление таких характерных признаков зависит от продолжительности светового дня [61].

По мнению большинства исследователей А.А. Митаревского, В.Н. Степанова, А.К. Лещенко [53, 58, 112], соя относится к очень теплолюбивым растениям. Отмечается, что нижний порог активных среднесуточных температур для сои не 10, а 15 и даже 16-17 °С. По данным В.Б. Енкина [29], сумма активных температур (выше 10 °С) в зависимости от продолжительности вегетации составляет для очень ранних сортов 1700-1900 °С, для ранних сортов – 2000-2200 °С, для среднеспелых сортов – 2600-2750 °С и для очень поздних - 3000-3200 °С, то есть диапазон сумм активных температур составляет 1500 °С. Для большинства сортов современной селекции, которые менее требовательные к теплу, и способные формировать полноценный урожай, необходима сумма активных температур за вегетационный период 1600-2000 °С [49, 61, 111].

Оптимальный срок сева семян сои соответствует температуре почвы на глубине 10 см 10-12 °С. Обычно это бывает в конце апреля - начале мая.

Запаздывание с посевом приводит к не дозреванию семян, а в степных районах посевы поздних сроков страдают от засухи. Требования к теплу в различные фазы развития неодинаковы. Потребность сои в тепле возрастает от прорастания семян к всходам, затем к цветению и формированию семян; во время созревания она уменьшается. Минимальная температура для прорастания семян должна быть 6-7 °С, достаточная 12-14 °С и оптимальная 15-20 °С. Наибольшая напряженность в требованиях к теплу у сои приходится на период цветения. В фазу от всходов до цветения наиболее благоприятна температура 20-21,5 °С. Для формирования репродуктивных органов самая благоприятная температура 21-23 °С, для цветения – 22-25 °С, для формирования бобов – 20-23 °С, для созревания – 18-20 °С. Соя переносит кратковременные весенние заморозки (-1-2,5 °С), но при этом несколько замедляется рост. В фазу всходов соя выдерживает заморозки до – 5 °С, при заморозках во время цветения –1 °С происходит сбрасывание бутонов и даже может отмечаться полная их гибель [35, 38, 41, 52, 68, 109].

1.3. Требования сои к влаге

Соя как культурное растение сформировалось в условиях муссонного климата и на образование единицы сухой массы расходует значительное количество воды. Суммарный расход влаги посевом сои может достигать 5500-6000 м³/га. При этом для сои характерно неравномерное водопотребление по фазам развития растений. По данным В.Б. Енкина [29] для нормального набухания и прорастания семена поглощают 95-150 % воды к сухой их массе. Оптимальная влажность почвы для прорастания семян сои и нормального роста растений, по наблюдениям Ю.П. Мякушко и В.Ф. Баранова [61], составляет 80-100 % наименьшей влагоемкости (НВ).

В начальные фазы развития (всходы, листообразование, ветвление, бутанизация) соя потребляет мало воды (15-30 м³/га в сутки) и отличается достаточно высокой засухоустойчивостью. С нарастанием вегетативной массы

расход воды увеличивается. По данным А.М. Алпатьева [7] наиболее интенсивное водопотребление у сои происходит в фазы цветения, формирования бобов и налива семян. За этот период соя потребляет 60-70 % суммарного расхода воды за вегетацию.

Проявляющийся в естественных условиях дефицит влаги в эти критические по водопотреблению фазы развития растений приводит к резкому снижению урожая [20].

Транспирационный коэффициент, как показатель расхода воды на формирование единицы сухого вещества, колеблется у сои в зависимости от биологических особенностей сортов и конкретных условий выращивания от 390-1000. В настоящее время в работах [29, 39, 54, 87] представлены следующие коэффициенты транспирации для сои. Так, для условий Приморского края, по данным Е.А. Старостина, транспирационный коэффициент составляет 391-500, для условий Украины, по сведениям А.К. Лещенко – 600-700, по данным Пайпер и Море – 527 для штата Колорадо, в Китае он достигает 600-1000, что отмечает Сунь Син-дун. Коэффициент водопотребления, характеризующий общий расход воды на создание единицы урожая семян, равен от 1124 до 3714.

Соя не выносит как засуху, так и избыточное увлажнение почвы, при которых в период, предшествующий цветению, замедляется рост и образуется меньше цветков, а в период цветения опадают цветки и молодые завязи.

Рост и развитие сои зависят и от относительной влажности воздуха, особенно в период цветения. Оптимальная влажность воздуха составляет 75-80%. Сочетание высокой температуры воздуха и низкой относительной влажности (менее 30%) приводит к значительному опадению цветков и молодых бобов.

Таким образом, для получения высокого урожая сои важна не только оптимальная влажность почвы, но и достаточное содержание водяных паров в воздухе [8, 36, 61, 113].

1.4. Требования сои к почвам и элементам питания

Соя может успешно возделываться на черноземных, каштановых и дерново-подзолистых почвах разного механического состава, а при достаточном количестве питательных веществ – и на песчаных почвах. Однако на протяжении всей вегетации она предъявляет большие требования к культурному состоянию почвы и наиболее высокие урожаи дает на почвах с глубоким пахотным слоем, богатых органическими веществами и кальцием, с хорошей влагопроницаемостью и со средней кислотностью. Оптимальная для сои кислотность – рН 6-7. Не пригодны для ее возделывания солонцы и солончаки, заболоченные и кислые почвы с рН ниже 5. Для получения высоких урожаев сои наиболее пригодны окультуренные, богатые гумусом и известью, хорошо удобренные, рыхлые, легко прогреваемые почвы [11, 52]. Рыхлая почва обеспечивает лучший воздушный и тепловой режим, создает благоприятные условия для развития азотфиксирующих бактерий.

В связи с богатым химическим составом зерна и зеленой массы соя выносит из почвы большое количество питательных элементов. По наблюдением А.К. Лещенко [53] при урожае зерна 18 ц/га соя усваивает 157 кг азота, 65 – P_2O_5 , 112 – K_2O и 128 кг кальция. Среди зернобобовых соя, как и фасоль, больше, чем другие культуры выносит из почвы азота, фосфора, калия, кальция. Характерная особенность сои – неравномерное потребление питательных элементов по фазам развития растений. По результатам исследования В.Б. Енкин [29], А.К. Лещенко [53] выделяют три периода по интенсивности потребления питательных веществ и отмечают, что наибольшее потребление азота, фосфора, калия соей приходит в период цветения-формирования бобов-налива семян.

Потребление азота зависит от культуры, сорта и условий возделывания. При изучении обмена азотом важно учитывать его биологическую функцию в течение вегетационного периода. За счет указанного процесса, растения сои при наличии хорошего клубенькообразования обеспечивают на 50-70 % свои

потребности в этом элементе. При нормальных условиях для деятельности клубеньковых бактерий не нужны азотные удобрения. На бедных гумусом почвах и недостаточном росте растений можно после почвенной диагностики внести 30-40 кг N / га. Определять потребность азотной подкормки можно по развитию пузырьков на корневой системе: если их мало (менее 5 на одно растение) и они серые внутри – есть потребность в подпитке, а если пузырьков много, они крупные с розовой мякотью – азотфиксация идет активно и подпитки не требуется.

Наибольшее количество азота необходимо в фазу формирования и налива бобов [54]. Недостаток азота в период цветения ведет к снижению урожайности сои и не может компенсироваться внесением азотных удобрений в более поздние фазы роста и развития растений, а в период роста из-за недостатка азота изменяется окраска листьев и замедляется темп роста растений. Листья приобретают желто-зеленую окраску, и они мелкие.

Фосфор необходим в формировании и развитии клубеньков. У сои фосфор способствует увеличению содержания белка и снижению жира. Этот элемент может также ускорять старение растений, регулируя транспорт углерода из хлоропластов. Недостаток фосфора приводит к подавлению роста растений, листья мелкие, удлинённые, при этом они рано отмирают, становясь полностью бурыми.

Калий играет важную роль в азотном обмене и перераспределении углеводов, регулирует водный баланс и синтез белка, повышает устойчивость к заболеваниям, пониженной температуре и полеганию. В тканях растений калий присутствует в виде свободных ионов или легко обмениваемых соединений и обладает наибольшей подвижностью по сравнению с другими минеральными элементами. Это преобладающий катион в цитоплазме клеток. Калий является активатором многих ферментов и играет большую роль в синтезе белка. Наибольшее поступление калия в растения сои отмечалось в период образования и роста плодов. При калийном голодании растения сои также развиваются слабее. Края листьев закручиваются, отмершая ткань выпадает.

Кальций необходим в минеральном питании зернобобовых. Поглощение кальция у сои на начальных этапах развития растений протекает с низкой скоростью, а затем, постепенно возрастая, достигает максимума (2,7 кг/ га в сутки) на 73-80-й день после прорастания. Максимальная скорость поглощения магния соей наблюдается в период полного цветения и начала завязывания бобов, а в период налива семян она уменьшается.

Сера находится в растениях в виде сульфат-ионов. Серное голодание снижает скорость роста сои и уменьшает содержание в растениях нерастворимого азота. Растение сои более активно поглощает серу перед началом цветения.

Цинк – это фактор многих ферментов. Во многих опытах доказано, что цинк легко перераспределяется в растениях, причем признаки голодания по этому элементу наиболее четко выражены у старых листьев. Дефицит цинка проявляется в желто-зеленой окраске листьев и торможении роста. Соя сравнительно устойчива к высоким дозам цинка (11 кг/га). При его внесении наблюдается торможение поглощения железа. Внесение цинка не влияет на содержание фосфора, калия, кальция, магния и меди в плодах.

Богаты минеральными веществами листья сои, особенно такими элементами, как медь и железо. При недостатке железа у растений наблюдается хлороз. При поглощении железо интенсивно транспортируется к активно развивающимся молодым тканям. У сои восстановление железа в корне происходит в клетках эндодермы и эпидермы. Наибольшей восстановительной способностью обладают молодые корни второго порядка. Железо транспортируется растением в виде цитрата железа. Внесение железа подавляет поглощение цинка и его транспорт к побегам, а также поступление фосфора.

Связанная медь – составная часть окислительно-восстановительных ферментов. Содержание меди в высушенных образцах сои (надземная часть) разных сортов составляет 4-12 мг/кг. Дефицит меди приводит к торможению роста и снижению урожайности сои [44, 61, 110].

1.5. Особенности роста и развития сои

У сои имеет вегетационный период продолжительностью 80-130, реже 160 дней и зависит от сорта и условий выращивания (агрометеорологические условия, территорий возделывания, культуры земледелия). Согласно наставлению [62, 63], у сои отмечается следующие фазы ее роста и развития: всходы, образование 5-го настоящего листа (3-й тройчатый лист), появление боковых побегов, цветение, появление бобов, конец цветения и созревания. В работе В.В. Калмыковой [37] был рассмотрен вопрос о методике наблюдений за фазами развития сои, и она предложила дополнить фазу созревания тремя этапами созревания: первый этап – побурение первых бобов, семена в них приобретают свойственную данному сорту окраску и форму. Второй этап – на растении побурело 50% бобов. Третий этап – на растении побурело не менее 75% бобов.

Появляющийся из прорастающего семени боба корешок быстро уходит глубоко в почву, образуя основной стержневой корень. Глубина проникновения стержневого корня в почву зависит от ее проницаемости, но нередки случаи, когда он достигает 2 м и более. От главного стержневого корня отходят боковые разветвления, захватывающие значительный объем почвы. Появляются корни и на подземной части стебля.

Образующийся над поверхностью почвы стебель имеет у зерновых бобовых различную механическую прочность. Так, у нута, кормовых бобов, люпина, кустовых форм фасоли и сои стебли до конца вегетации сохраняют вертикальное положение, тогда как стебли гороха и чины полегают, и для поддержания их вертикального положения требуется опора, за которую они и цепляются своими усиками. Наиболее интенсивный рост надземных органов наблюдается у зерновых бобовых в период бутонизации и цветения.

У большинства зерновых бобовых растений цветки расположены по одному или более в пазухах листьев. Образование цветков и цветение происходят последовательно снизу вверх по главному стеблю и его боковым

побегах. Поэтому цветки зацветают в разное время, что в дальнейшем приводит к разновременному созреванию плодов, проходящему также последовательно снизу вверх.

Цветение у сои растянуто и совпадает с интенсивным ростом растений, что определяет большую требовательность их в этот период к влаге и питательным веществам (критический период).

При созревании растения сои сбрасывают листья, и семена подсушиваются до уборочной спелости (12-14 %). После созревания у сои бобы растрескиваются по продольным швам, створки боба скручиваются и разбрасывают семена, что может привести к значительным потерям семян. Селекционной работой удалось создать сорта сои со слабой склонностью к растрескиванию зрелых бобов.

1.6. Характеристика возделываемых сортов

Одним из главных составляющих успешного сельскохозяйственного производства, является применение современных технологий и использование качественного посевного материала. В последнее время в сельском хозяйстве большой интерес аграриев получило производство соевых бобов. На рынке появилось множество сортов сои, как зарубежных, так и местных производителей. Однако для каждого региона нужно подбирать наиболее продуктивный сорт. Правильный выбор сорта сои - одно из решающих условий получения максимального урожая. В каждом хозяйстве необходимо возделывать 2-3 сорта сои, которые различаются продолжительностью вегетационного периода, устойчивостью к болезням, вредителям и неблагоприятным факторам среды (пониженные температуры, почвенные и воздушные засухи, переувлажнение и др.).

На данное время в Государственный реестр сортов растений в Украине зарегистрировано 123 сорта сои, из них 72 % отечественной селекции. Ниже

приведены характеристики наиболее распространенных в производстве сортов сои:

Сорт Аркадия одесская один из наиболее высокобелковых районированных в нашей стране сортов. Получен путем воздействия мутагена диметилсульфата в газовой фазе на семена сорта ВНИИМК 9186. Подвид славянский, апробационная группа украиника. Опушение стебля и бобов бурое, густое. Подсемядольное колено зеленое, с четкой антоциановой пигментацией. Листья тройчатые, среднего размера, темно-зеленые, с заостренным кончиком. Соцветия многоцветковые, цветки фиолетовые по 10-12 в кисти. Бобы бурые, слегка согнутые, 2-3-семенные. Семена сои овальные, желтые, без пигментации, рубчик крупный, темно-коричневый, с белым глазком. Сорт скороспелый, продолжительность вегетационного периода 105-115 дней. Масса 1000 семян 160-190 г, содержание белка 44 %, жира 18-20 %. Анализ структуры урожая в течение ряда лет показал, что этот сорт превосходит другие по надземной массе, числу узлов, бобов и семян на растении, массе семян с одного растения и массе 1000 семян. Он также имеет более высокий уборочный индекс и повышенную высоту прикрепления нижних бобов. Пригоден к механизированной уборке, высота прикрепления нижних бобов 10-12 см. Устойчив к поражению фузариозом, пероноспорозом и другими грибными заболеваниями выше средней. Урожай на сортоучастках составляет 25-26 ц/га в суходольных условиях и 35-36 ц/га при орошении. Рекомендуется возделывать в Степной зоне Украины [98].

Сорт Одесская 124 получен при воздействии гамма-лучами в дозе 5 крад на семена сои сорта Перемога. Подвид славянский, апробационная группа флавида. Характеризуется недетерминантным типом роста, интенсивным рыжим опушением стеблей и створок бобов, фиолетовой окраской цветков, средним размером листьев с заостренными кончиками, высокорослостью, гладкой и блестящей семенной кожурой. Сорт скороспелый, продолжительность вегетационного периода 107-118 дней. Засухоустойчив, отзывчив на интенсивные факторы земледелия. Урожай на сортоучастках

составили 23,6 – 34,1 ц/га при орошении и 40,7 ц/га в суходольных условиях. Рекомендуется возделывать в Степной зоне Украины.

Сорт Альтаир выведен из сложной гибридной популяции, полученной от скрещивания североамериканских и канадских сортов Портейдж, Альтона, Свифт, Фламбо и Маккол. Относится к славянскому подвиду, апробационной группе украиника. Сорт скороспелый, созревает на 8-9 дней раньше сорта Аркадия одесская. Благодаря удлинённому репродуктивному периоду, сорт обладает повышенной стабильностью урожая семян. В полевых условиях устойчив к грибным, бактериальным и вирусным заболеваниям. Средний урожай на сортоучастках степной зоны Украины достиг 18,7 ц/га, в Лесостепной зоне – 18,2 ц/га, в Прикарпатье урожай достиг 23,5 ц/га. Рекомендуется выращивать сорт практически на всей территории Украины.

Сорт Одесская 150 выведен методом многократного индивидуального отбора из сложной гибридной комбинации, полученной от скрещивания линий Л 22/83 и Л 20/82. Линия Л 22/83 получена из сорта ВНИИМК 9186 при применении мутагена диметилсульфата, линия Л 20/82 выделена из сорта Перемога при воздействии мутагеном нитрозоэтил-мочевиной. Подвид славянский, апробационная группа украиника. Выделяется рыжим опушением стебля и створок бобов, белой окраской цветков, желтыми семенами с четко выраженным черным рубчиком и белым глазком. Сорт среднеспелый, продолжительность вегетации 132 дня. Засухоустойчив, высокая семенная продуктивность. Характеризуется очень высоким содержанием масла в семенах. Средний урожай на сортоучастках в суходольных условиях составил 17,2-20,4 ц/га, при орошении – 28,4-36,4 ц/га. В Государственный реестр сортов занесен в 2001 году для Лесостепной зоны Украины. Рекомендуется выращивать сорт практически на всей территории Украины.

Сорт Чернобурая получен в результате реализации коллективной селекционной программы, в которой принимают участие Селекционно-генетический институт УААН, Институт земледелия УААН и Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук. Сорт выведен

методом многократного индивидуального отбора из гибридной популяции Л 89-10 и Маньчжурская. Линия Л 89-10 была создана на Кировоградской опытной сельскохозяйственной станции, коллекционная форма Маньчжурская была получена из Всероссийского института растениеводства им. Н. Вавилова (г. Санкт-Петербург). Относится к маньчжурскому подвиду, апробационной группе имперфекта. Высота главного стебля - средняя. Опушение стебля и створок бобов темно-коричневое, густое. Подсемядольное колено в период всходов имеет четкую фиолетовую окраску. Цветки крупные, фиолетового цвета, по 8-10 в кисти. При созревании бобы темно-коричневые, почти черные, среднего размера. Семенная кожура коричневая, рубчик крупный, овальный, коричневого цвета. В условиях Степи это ультраскороспелый сорт (80-100 дней), в Лесостепи и Полесье скороспелый (100-120 дней). Содержание белка 38,6% и масла 19,0%. Устойчив к бактериальным и грибным болезням. В зоне северной Лесостепи сорт холодоустойчив при прорастании и на ранних фазах роста, засухоустойчив – в период генеративного периода. Средний урожай на сортоучастках составил 19,7-26,5 ц/га. Рекомендуется для возделывания в Степной и Лесостепной зонах Украины как при орошении, так и в суходольных условиях.

Сорт Марьяна создан путем многократного индивидуального отбора из гибридной комбинации Киевская 27 x Киевская скороспелая. Марьяна выведена в соответствии с коллективной селекционной программой, в которой принимают участие Селекционно-генетический институт УААН, Институт земледелия УААН и Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук. Относится к маньчжурскому подвиду, апробационной группе латифолия. Опушение стебля и створок бобов рудое и густое, окраска подсемядольного колена при появлении всходов фиолетовая. Форма листочков овально-удлиненная с заостренным кончиком, размер средний. Главный стебель обладает полузаконченным ростом, насчитывает 13-16 междоузлий. Цветки собраны в кисти по 8-11 штук, фиолетовой окраски. Боб луцильного типа, пергаментный слой развит слабо. Среднее количество бобов на растении

38-50, максимальное – 146. Форма бобов слабосогнутая, окраска коричневая. Семена овальные, желтые, иногда с незначительной коричневой пигментацией. Рубчик коричневый, линейный. Скороспелый сорт, продолжительности вегетационного периода 117 дней. Массой 1000 семян 177,3 г, содержание в семенах белка 38,2 % и масла 26,2 %. Устойчив к полеганию и осыпанию, к пониженным положительным температурам в период появления всходов и при цветении. В полевых условиях обладает толерантностью к основным заболеваниям. Средний урожай на сортоучастках составил 23,6 ц/га, на орошении - 28,7 ц/га. Рекомендуется для возделывания во всех зонах Украины.

Сорт Хаджибей создан путем многократного индивидуального отбора из гибридной комбинации Эванс х Л 31-31. Сорт Эванс выведен в США, селекционная линия Л 31-31 получена в Канаде от скрещивания ультраскороспелого шведского сорта Фискеби 5 и американского сорта Блэкхок. В Государственный реестр сортов Украины Хаджибей занесен с 2001 года. Относится к маньчжурскому подвиду, апробационной группе латифолия. Скороспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 114 дней. Выделяется высокой семенной продуктивностью и хорошей адаптивностью, высокорослый (96 см), устойчив к полеганию, осыпанию и засухе; нижние бобы прикреплены достаточно высоко от поверхности почвы (16,5 см). Содержание протеина в семенах 36,9 % и масла 21,8 %. Не поражается пероноспорозом, аскохитозом и бактериозом. Средний урожай во всех зонах Украины составил 25,7 ц/га, максимальный урожай составляет 41,1 ц/га семян.

Сорт Дonya занесен в Государственный реестр сортов Украины с 2001 года. Относится к маньчжурскому подвиду, апробационной группе флавида. Сорт высокорослый (90-120 см), рыжее опушение стеблей и створок бобов, многоцветковая кисть, фиолетовая окраска цветков. Семена гладкие, блестящие, пигментация отсутствует. Среднеранний сорт, продолжительность вегетационного периода – 120-130 дней. Масса 1000 семян 187-210 г, содержание протеина в семенах 40,0-42,0 %, масла 22-23 %. Характерная

особенность высокое прикрепление нижних бобов от поверхности почвы (18-20 см), что гарантирует низкие потери при уборке. Устойчив к аскохитозу, пероноспорозу и септориозу. Средняя урожайность – 42-45ц/га. Рекомендуется выращивать в зоне Степи и Лесостепи Украины.

Сорт Белоснежка выведен опытным хозяйством «Терезино» Украинского научно-исследовательского института и Кировоградской областной сельскохозяйственной опытной станцией методом повторного индивидуального отбора из сорта Терезинская 10А гибридного происхождения. Высота растения (45-70 см), цветки светло-фиолетовые, бобы светлые, семена светло-желтые, округлоовальные, рубчик коричневый. Скороспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 106-114 дней. Масса 1000 семян 150-188 г, содержание белка 35-40 %, масла 17-19 %. Устойчив к бактериальным и вирусным болезням. Высота прикрепления нижних бобов – 10-13 см. Средний урожай на сортоучастках составил 16-20 ц/га. Рекомендуется выращивать в зоне Степи и Лесостепи Украины.

Сорт Кировоградская 5 выведен Кировоградской областной сельскохозяйственной опытной станцией методом многократного индивидуального отбора из гибрида от скрещивания сортов Рада и Июлька. Высота растения (70-92 см), с рыжим опущением, цветки белые, бобы бурые, семена желтые, овальные, рубчик черный. Скороспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 111-120 дней. Масса 1000 семян 150-170 г, содержание белка 45-46 %, масла 18,6-19,4 %. Устойчив к бактериальным болезням и полеганию. Высота прикрепления нижних бобов – 10-13 см. Средний урожай на сортоучастках составил 12,9-15,8 ц/га, максимальный урожай – 23,8 ц/га. Рекомендуется выращивать в зоне Южной Степи и Лесостепи Украины.

Сорт Киевская 48 выведен УНИИЗ и Кировоградской сельскохозяйственной опытной станцией. Высота растения (70-90 см), с рыжим опущением, цветки фиолетовые, бобы темно-коричневые, семена светло-желтые, овальные, рубчик коричневый с белым «глазком». Среднеспелый сорт,

продолжительность вегетационного периода – 127-128 дней. Масса 1000 семян 150-160 г, содержание белка 43-44 %, масла 20-21 %. Устойчив к бактериальным болезням, к осенним заморозкам, обламыванию и растрескиванию бобов. Средний урожай на сортоучастках составил 8,2-18,2 ц/га, максимальный урожай – 26 ц/га. Рекомендуется выращивать в Лесостепной зоне Украины и Прикарпатье.

Сорт Терезинская 24 выведен Киевской опытной станцией и Кировоградской сельскохозяйственной опытной станцией из сорта Терезинская 2. Высота растения (70-90 см), с рыжим опущением, цветки фиолетовые, бобы темно-коричневые, семена светло-желтые, овальные, рубчик коричневый с белым «глазком». Среднеспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 128-140 дней. Масса 1000 семян 110-130 г, содержание белка 37-46 %, масла 17-18 %. Устойчив к осенним и весенним заморозкам, обламыванию и растрескиванию бобов. Средний урожай на сортоучастках составил 15-20 ц/га, максимальный урожай – 39,4 ц/га при орошении. Рекомендуется выращивать в Лесостепной и Южной Степи Украины.

Сорт Зарница выведен Кировоградской сельскохозяйственной опытной станцией, УНИИЗ и Черновицкой опытной станцией из сортолинейного гибрида Краснодарская 13 и Июлька. Высота растения (80-85 см), с рыжим опущением, цветки фиолетовые, бобы темно-рыжие, семена светло-желтые, овальные, рубчик коричневый. Скороспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 113-120 дней. Масса 1000 семян 135-145 г, содержание белка 36-38 %, масла 19-20 %. Устойчив к вирусным болезням, к осенним и весенним заморозкам. Нижние бобы прикреплены на высоте 12-14 см. Средний урожай на сортоучастках составил 20 ц/га. Рекомендуется выращивать в Лесостепной зоне Украины.

Сорт Аннушка создан Кировоградской научной селекционно-семеноводческой фирмой «Соевый век», который успешно прошел тестирование в Великобритании и внесен в Европейский Каталог Сорта Растений в 2009 году. Сорт сои Аннушка занял I-ое место в Украине по

посевным площадям (175 тыс.га в 2010 году). Признан лучшим сортом сои в странах СНГ. В Государственный реестр сортов занесен в 2007 году. Сорт высокорослый (80-100 см), куст сжатый, растения промежуточного типа роста, гипокотиль характеризуется антоциановым окрасом, окрас цветков - фиолетовый, опушения темно-серый, листья ланцетной формы. Семена сои среднего размера, желтые, овально-округлые, рубчик с желтым глазком, обладает повышенным количеством семян в бобе. Масса 1000 семян 110-155 г, содержание в семенах белка 41,0-42,9 %, жира 16,9-20,9 %. Очень скороспелый сорт, вегетационный период 75-85 дней (в первой декаде августа наступает полное созревание). Высота прикрепления нижних бобов составляет 15 см. Устойчив к полеганию и болезням, хорошо реагирует на высокий агрофон и орошение. Средний урожай составляет 40 ц/га. Рекомендован для возделывания в зонах Лесостепи и Полесья Украины.

Сорт Анастасия в Государственный реестр сортов занесен в 2010 году. Высота растений сои - 80-130 см, куст сжатый, растения промежуточного типа роста, с серым опушением, листья ланцетной формы, цветки фиолетовые, семена желтые, овально-продолговатые, рубчик желтый, обладает повышенным количеством семян в бобе. Масса 1000 семян 150-160 г, содержание в семенах белка 39,9-41,9 %, жира 17,9-19,9 %. Сорт очень ранний, продолжительность вегетационного периода 87-95 дней (во второй половине августа наступает полное созревание). Высота прикрепления нижних бобов составляет 13-17 см. Устойчив к полеганию и болезням, засухоустойчив, хорошо реагируют на высокий агрофон и орошение. Средний урожай составляет 38 ц/га. Рекомендован для возделывания в зонах Лесостепи и Полесья Украины.

Сорт Антошка внесен в Государственный реестр в 2010 году. Высота растений сои – 100-130 см, куст сжатый, растения индетерминантного типа роста, с белым опушением, листья ланцетной формы, крупные, цветки белые, семена светло-желтые, овальные, рубчик светло-желтый, обладает повышенным количеством семян в бобе. Масса 1000 семян – 170-200 г, содержание в семенах белка – 43,6 %, жира – 18,3 %. Сорт раннеспелый,

продолжительность вегетационного периода 96 дней (во второй декаде августа наступает полное созревание). Высота прикрепления нижних бобов составляет 15-24 см. Устойчив к полеганию и болезням, засухоустойчив, хорошо реагируют на высокий агрофон и орошение. Средний урожай составляет 37 ц/га. Сорт пригоден для выращивания при орошении, на удобренных полях. Рекомендован для возделывания в зонах Степи Украины.

Сорт Мавка внесен в Государственный реестр в 2010 году. Высота растений сои – 80-110 см, куст сжатый, растения индетерминантного типа роста, с белым опушением, листья ланцетной формы, цветки белые, семена светло-желтые, овальные, рубчик желтый, обладает повышенным количеством семян в бобе. Масса 1000 семян 180-185 г, содержание в семенах белка 40,1 %, жира 17,5 %. Сорт раннеспелый, продолжительность вегетационного периода 100 дней (во второй декаде августа наступает полное созревание). Высота прикрепления нижних бобов составляет 15-20 см. Устойчив к полеганию, к болезням, растрескиванию бобов. Средний урожай составляет 45 ц/га. Сорт пригоден для выращивания при орошении, на удобренных полях.

Сорт Краса Поділля выведен институтом кормов УААН и Ровенской сельскохозяйственной опытной станцией. Внесен в Государственный реестр сортов Украины в 1999 году. Относится к маньчжурскому подвиду, апробационной группе флавида. Высота растений сои – 80-110 см, куст сжатый, растения детерминантного типа роста, с рыжим опушением, листья тройчатые, среднего роста, темно-зеленые, цветки фиолетовые, бобы бурые, семена овальные, желтые, редко с пигментацией, рубчик желтый. Скороспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 100-107 дней. Масса 1000 семян 130-140 г, содержание белка 38,8-39,5 %, масла 17,2-17,9 %. Высота прикрепления нижних бобов составляет 12-15 см. Устойчив к болезням. Средний урожай на сортоучастках составил 13,5-18,1 ц/га, максимальный урожай – 24,5 ц/га. Рекомендован для выращивания во всех зонах Украины.

Сорт Подольская 1 выведен институтом агроэкологии та биотехнологией УААН, Подольской аграрно-технической академией и Институтом кормов

УААН. Внесен в Государственный реестр сортов Украины в 1997 году. Относится к маньчжурскому подвиду, апробационной группе сордида. Растения полудетерминантного типа роста, высота растений – 80-120 см, куст компактный, с рыжим опушением, листья тройчатые, среднего роста, темно-зеленые, цветки фиолетовые, бобы слабоизогнутые, желтые, семена овальные, желтые, без пигментацией, рубчик коричневый. Среднеспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 120-132 дня. Масса 1000 семян 160-170 г, содержание белка 35-40 %, масла 18,7 %. Высота прикрепления нижних бобов составляет 14-18 см. Устойчив к болезням. Средний урожай на сортоучастках составил 24-28 ц/га, максимальный – 38-42 ц/га. Рекомендован для выращивания в Лесостепной и Степной зоне Украины [35].

Сорт Подольская 416 выведен институтом агроэкологии та биотехнологией УААН, Подольской аграрно-технічної академією і Інститутом кормів УААН, індивідуальним отбором из гибридной популяции сорта Подольская 1. Внесен в Государственный реестр сортов Украины в 2001 году. Относится к маньчжурскому подвиду, апробационной группе сордида. Растения полудетерминантного типа роста, высота растений – 80-120 см, куст компактный, с рыжим опушением, листья тройчатые, среднего роста, темно-зеленые, цветки фиолетовые, бобы слабоизогнутые, желтые, семена овальные, желтые, без пигментацией, рубчик коричневый. Скороспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 113-120 дней. Масса 1000 семян 160-170 г, содержание белка 35-40 %, масла 18,7 %. Высота прикрепления нижних бобов составляет 14-18 см. Устойчив к болезням. Средний урожай на сортоучастках составил 22-25 ц/га, максимальный – 30-32 ц/га. Рекомендован для выращивания в Лесостепной и зоне Украины.

Сорт Агат выведен Институтом кормів УААН, Красноградської дослідницької станцією Інститута зернового господарства УААН. Внесен в Государственный реестр сортов Украины в 2000 году. Относится к маньчжурскому подвиду, апробационной группе-сордида. Растения детерминантного типа роста, высота растений – 60-70 см, куст сжатый, с

рыжим опушением, листья тройчатые, среднего роста, темно-зеленые, цветки фиолетовые, бобы слабоизогнутые, желтые, семена овальные, желтые, редко с пигментацией, рубчик коричневый. Среднеспелый сорт, продолжительность вегетационного периода – 122-130 дней. Масса 1000 семян 197-218 г, содержание белка 39-41 %, масла 19-21 %. Высота прикрепления нижних бобов составляет 9-14 см. Устойчив к болезням. Средний урожай на сортоучастках составил 23-26 ц/га, максимальный – 30-34 ц/га. Рекомендован для выращивания в Лесостепной и Степной зоне Украины [32, 68].

ВЫВОДЫ К РАЗДЕЛУ 1

Были рассмотрены биологические особенности культуры сои и требования культуры к условиям окружающей среды: свету, теплу, влаге, почве и минеральному питанию.

Среди зернобобовых культур соя занимает первое место. Это уникальная белково-масличная культура. В зависимости от сорта и условий выращивания в семенах сои содержится 36-48 % белка и 17-26% масла. Благоприятное сочетание питательных веществ позволяет широко возделывать сою как пищевое, кормовое и техническое растение.

Продуктивность посевов, зависит от влияния факторов внешней среды. Основными факторами, от которых зависят развитие, рост и состояние сои в весенний период являются тепло и увлажнение почвы.

Соя – теплолюбивое растение, короткого дня, плохо переносит затенение. Минимальная температура прорастания семян сои 6-7 °С, оптимальная 15-20 °С. Температурный режим влияет на величину и качество ее урожая.

Соя — культура муссонного климата, предъявляет повышенные требования к влагообеспеченности и почве, особенно к плодородию почвы и наиболее высокие урожаи дает на почвах с глубоким пахотным слоем, богатых органическими веществами и кальцием, с хорошей влагопроницаемостью и со средней кислотностью. Она хорошо отзывается и на органические удобрения.

Фосфорные и калийные удобрения следует вносить под основную вспашку и при посеве в рядки. Азотные – в предпосевную культивацию и в подкормки.

В Украине соя наиболее распространена в Лесостепи и Степи, однако в последние годы сою стали выращивать и в Полесье. Средняя урожайность сои колеблется от 15,9 до 24 ц/га. При орошении на юге Украины получают урожай до 35 ц/га.

Приведена характеристика наиболее распространенных в производстве сортов сои, которые районированы на территории Украины.

РАЗДЕЛ 2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ

2.1. Условия проведения эксперимента

В основу исследований был положен комплексный биолого-агрометеорологический эксперимент, целью которого было исследование влияния факторов внешней среды на состояние растения сои.

Программа полевого опыта включала ряд метеорологических, фенологических, агрометеорологических, биометрических, физиологических наблюдения и измерений, необходимых для расчета и уточнения параметров влияния внешней среды на рост, развитие и формирование продуктивности сои.

2.1.1. Краткая физико-географическая характеристика района проведения экспериментальных работ

Полевые опыты проводились на наблюдательных участках учебной агрометеорологической лаборатории Одесского государственного экологического университета (АМЛ, ОГЭКУ) в с. Черноморка.

Основные черты геолого-геоморфического строения этого района обусловлены его положением на западной окраине Причерноморской низменности, которая характеризуется, как зона недостаточного увлажнения и отличается засушливым климатом. Почвообразующей породой являются глинистые лессы, имеющие палево-бурый цвет, плотное сложение и высокую карбонатность. Почва – южный чернозем, уровень грунтовых вод на глубине более 10 м. Величина наименьшей полевой влагоемкости – 168 мм.

Агроклиматические условия района характеризуются теплой малоснежной зимой, продолжительным жарким летом, с частыми суховеями. Наблюдается значительный приход солнечной радиации. Годовая сумма суммарной радиации составляет в среднем 4800 мДж/м², радиационного баланса – 1700 мДж/м².

Характерная особенность климата – это обилие тепла и света в течение всего теплого полугодия при недостатке полезной влаги в почве и неустойчивость погодных условий в холодное полугодие. Лето жаркое и продолжительное (с мая по октябрь), сухое с преобладанием ясных и малооблачных дней. Средняя месячная температура воздуха в июле равна 27 °С, но под влиянием моря она понижается до 26 °С, а в береговой полосе до 25 °С. Зима мягкая и короткая, продолжительностью около двух месяцев; зимой часты оттепели. Притекающие массы континентального холодного воздуха вызывают значительные понижения температуры. Средняя месячная температура воздуха января колеблется по области в пределах от – 2 °С на юге до – 4-5 °С на северо-востоке.

Для характеристики ресурсов тепла используются суммы температур за период активной вегетации сельскохозяйственных культур, который соответствует периоду со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С. По территории района продолжительность этого периода колеблется в среднем от 170 до 200 дней, а средняя многолетняя сумма температур от 2900 до 3600 °С. Хорошие температурные условия сочетаются с продолжительным безморозным периодом, продолжительность которого в среднем составляет 175–215 дней [100].

Для района характерен континентальный тип годового хода осадков с максимумом в теплое время года. Среднее годовое количество осадков 300-450 мм, наибольшее количество осадков выпадает в виде ливней [101].

Суммы осадков недостаточно хорошо характеризуют влагообеспеченность растений. Более правильным агроклиматическим показателем условий увлажнения территории является отношение прихода

влаги (суммы осадков) к ее возможному расходу (испаряемости). Значения гидротермического коэффициента Селянинова (*ГТК*) по территории в среднем равны 0,7.

В период вегетации сельскохозяйственных культур наблюдается и атмосферная засуха. Почти ежегодно в течении трех-шести и более декад растения произрастают при недостаточном увлажнении почвы, т.е. при запасах продуктивной влаги в пахотном слое 19 мм и менее. Среднее количество осадков по области за год составляет 491 мм. Близко 70 % от годового количества осадков выпадает в теплый период года. Неустойчивое распределение осадков в сочетании с высокой температурой воздуха с суховеями в летний период обуславливает большие колебания урожайности полевых культур по годам [6].

Следовательно, для более эффективного использования термического режима и тепловых ресурсов необходимо дополнительное увлажнение.

2.1.2. Методика проведения полевого опыта

Полевой эксперимент проводился в 2009 и 2010 годах. Район размещения опытного поля находится в зоне с недостаточным и неустойчивым увлажнением, отличается засушливым климатом, характеризуется мягкой непродолжительной и малоснежной зимой, длительным безморозным периодом, большой суммой положительных температур за вегетационный период, что, в конечном счете, позволяет выращивать многие теплолюбивые культуры.

В течение 2009 и 2010 гг. проводилась отработка методики определения ряда биометрических параметров растительного покрова, а также разработка и уточнение программы полевого эксперимента [103]. В качестве опытной культуры был выбран сорт сои Аркадия одесская, который выведен путем воздействия мутагена диметилсульфата в газовой фазе на семена сорта ВНИИ МК9186, районированный в степной зоне Украины. Характеризуется

оптимальной для юга Украины продолжительностью вегетационного периода, который в Одесской области составляет 100 – 120 дней.

Программа полевого опыта (табл. 2.1), наряду со стандартными метео- и агрометеорологическими наблюдениями, включала проведение ряда специфических биометрических наблюдений. Опыты проводились с тремя сроками сева: ранним, средним и поздним. Сухая масса растений определялась ежедекадно, начиная с даты 5-го настоящего листа (3-й тройчатый лист) сои. Для этого в дни наблюдений, согласно методике полевого опыта [28], в четырех местах опытного участка в трехкратной повторности выкапывались по 10 растений (всего 40 растений) [62, 63, 103].

Отбирались растительные пробы, после этого у растений отрезались корни и отделялась отмершая масса, в которую входят отмершие части растений: сухие листья с влагалищами или их усохшие части, отмершие побеги и стебли. Взвешивалась общая отмершая и общая живая масса пробы. Умножением этих величин на густоту стояния растений определялись живая и отмершая сырая растительная масса на 1 м^2 посева. На трех участках (ранний, средний, поздний) производился детальный разбор растительной пробы на фитоэлементы: листья, стебли, бобы. Определение процента сухого вещества в отдельных фитоэлементах пробы производилось путем высушивания небольшой навески (не менее 20 г) фитоэлементов до абсолютного сухого состояния. Сушка проб проводилась в течение первого часа при температуре 100-105 °С, а в дальнейшем – при 70-80 °С и продолжалась до того момента, когда масса при последующем взвешивании меняется не более чем на 0,1 г. Процент сухого вещества рассчитывался путем деления сухой массы элемента на сырую массу. Расчет сухой массы элемента в г на единицу площади посева производился путем умножения сырой массы элемента в г на 1 м^2 посева на процент сухого вещества в нем.

Площадь ассимилирующей поверхности листьев определялась с помощью весового метода. С помощью метода высечек определялась удельная поверхностная площадь листьев (σ_l): у листа отсекались основание и кончик

Таблица 2.1

Программа проведения полевого опыта

№ п/п	Характер наблюдений	Виды наблюдений	Периодичность производства наблюдений	Литературный источник
1	2	3	4	5
1	Фенологические	– фазы развития растений	через день	63
2	Биометрические	– высота растений;	1 раз в декаду	63
		– густота стояния растений;	-//-	63
		– продуктивность растения;	-//-	63
		– сухая биомасса: корней,	-//-	63
		листьев,	-//-	63
		стеблей,	-//-	63
		бобов;	-//-	63
		– площадь листьев;	-//-	57, 67
		– количество семян в бобе;	1 раз в 5 дней	63
– масса 1000 семян.	-//-	63		
3	Физиологические	Чистая продуктивность фотосинтеза, интенсивность фотосинтеза	1 раз в декаду	12, 67

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5
4	Метеорологические и агрометеорологические	– температура воздуха;	через 3 часа	62
		– температура почвы на глубине 5, 10, 15, 20 см;	-//-	62
		– влажность метрового слоя почвы;	1 раз в 10 дней	62
		– сумма осадков;	ежедневно	62
		– продолжительность солнечного сияния;	-//-	62
		– относительная влажность воздуха.	через 3 часа	62

(приблизительно 1/6 части от длины листа), затем измерялась его длина по жилке l_l ширина в средней части d_l .

Площадь прямоугольной или трапециевидной высечки S_l определялась по формуле

$$S_l = l_l \cdot d_l. \quad (2.1)$$

Для определения σ_l размер пробы должен составлять не менее 40 высечек. Сразу после взятия высечки взвешивались, σ_l рассчитывалась по формуле

$$\sigma_l = \frac{m_{40l}}{40 \sum_{n=1} S_l}, \quad (2.2)$$

где m_{40l} - масса 40 высечек, г.

Площадь ассимилирующей поверхности листьев на единице площади посева L рассчитывалась путем деления массы листьев на единицу площади m_l на σ_l

$$L = \frac{m_l}{\sigma_l}. \quad (2.3)$$

Для определения интенсивности фотосинтеза листьев использовался бескамерный способ, согласно методике [12]. Оценивалась средняя скорость фотосинтеза за несколько часов. Для этого определялось относительное изменение удельного содержания восстановленных веществ (μ^1) за единицу времени. При расчете интенсивности фотосинтеза необходимо знать содержание восстановленных веществ (m^1) и сырую биомассу (M^1) контрольной порции, которая экспонировалась в течение заданного промежутка времени (τ_c) на свету.

Для контрольной пробы (индекс 0) содержание восстановленных веществ определялось по выражению

$$\mu_0^1 = \frac{m_0^1}{M_0^1}. \quad (2.4)$$

Для пробы, которая экспонировалась на свету (индекс С)

$$\mu_c^1 = \frac{m_c^1}{M_c^1}. \quad (2.5)$$

Относительное изменение в удельном содержании восстановленных веществ за единицу времени, выраженное в процентах F %, определялось по уравнению

$$F\% = \frac{100\%}{\tau_c} \left(\frac{\mu_c^1 - \mu_0^1}{\mu_0^1} \right) = \frac{100\%}{\tau_c} \left(\frac{\frac{m_c^1}{M_c^1}}{\frac{m_0^1}{M_0^1}} - 1 \right). \quad (2.6)$$

Содержание восстановленных веществ определялось спектрофотометрированием реакционной смеси (бихромата калия с серной кислотой), в которой сжигалась проба.

Брались три одинаковые порции биоматериала весом 30-50 мг каждая. Одна из биопроб сразу фиксируется в хромовой смеси для сжигания. Две другие помещаются в чашечки с водой. Биопробы, размещенные на поверхности воды, экспонировались одна на свету, другая в темноте.

Экспозиция биоматериала на свету и в темноте начиналась в одно и то же время и продолжалась 6 часов. Такая продолжительность времени выбрана для того, чтобы изменение удельного содержания восстановленных веществ во время фотосинтеза было достаточно велико. Фиксация биопроб и их сжигание проводились в тот же день.

Выдерживалась трехкратная повторность взятия биопроб с каждого изучаемого образца. Интенсивность фотосинтеза листового аппарата растений сои измерялась в первую декаду после появления боковых побегов и в даты массового наступления следующих фаз: цветения, образования бобов, созревание.

2.1.3. Агрометеорологические условия в годы проведения опыта

В ходе полевых экспериментов в 2009 и 2010 годах проводились наблюдения за состоянием посевов сои и комплексом агрометеорологических условий, начиная с даты сева сои.

При выборе сроков сева обычно руководствуются основными факторами: температурой, длиной дня, осадками и наличием влаги в почве. К посеву сои

приступают, когда почва на глубине заделки семян прогреется до температуры + 10 ... + 12 °С. Данный период, обычно приходится на апрель.

В 2009 году посев сои проводился 11 апреля (ранний), 27 апреля (средний), 11 мая (поздний). Всходы сои были отмечены 25 апреля, 8 мая и 20 мая соответственно. Начиная с этой фазы развития, проводились параллельные наблюдения за состоянием посевов сои и комплексом агрометеорологических условий в течении всего вегетационного периода вплоть до полного созревания ее бобов [103, 104, 106].

На рис. 2.1 представлены агрометеорологические условия периода вегетации культуры сои в 2009 году.

Агрометеорологические условия на момент посева во всех трех случаях были удовлетворительными. Нумерация декад начинается со второй декады апреля (рис. 2.1). Так на дату сева температура воздуха составила 10,2 °С, (ранний срок), 13,4 °С (средний) и 17,0 °С (поздний). Осадки соответственно составили 0 мм, 0 мм и 7 мм. Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см при раннем сроке сева составили 155 мм, при среднем – 146 мм и при позднем – 126 мм.

На конец вегетации при раннем сроке сева температура воздуха составила 23,7 °С, при среднем – 22,0 °С и 20,6 °С при позднем сроке. Сумма осадков при всех вариантах сева составила 1 мм. Запасы продуктивной влаги были соответственно – 87, 88 и 89 мм. В течение вегетации максимальных значений температура воздуха достигла во второй декаде июля и составила 25,3 °С. (рис. 2.1).

В табл. 2.2 представлены агрометеорологические условия периода вегетации культуры сои по основным межфазным периодам. Из таблицы видно, что при раннем сроке сева (11 апреля), продолжительность периода посев – всходы составил 14 дней, при среднем сроке – 11 дней, а при позднем сроке сева период от сева до массового появления всходов сократился до 9 дней. Среднесуточная температура воздуха за период посев – всходы была также различной.

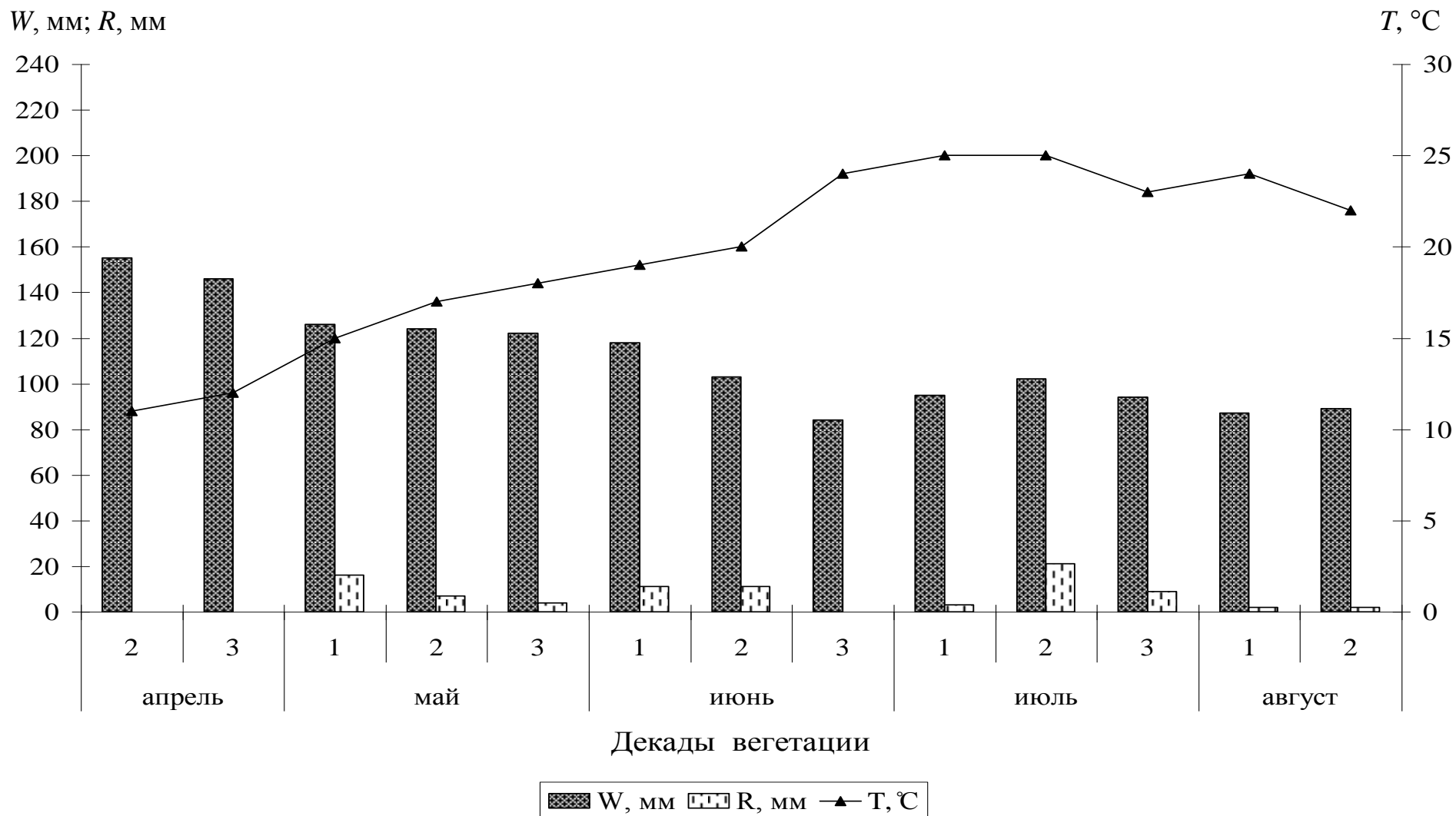


Рис. 2.1. Агрометеорологические условия периода вегетации культуры сои в Одесской области в 2009г., с. Черноморка: W_{0-100} – запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см; R – сумма осадков за декаду, мм; T – среднедекадная температура воздуха, °C

При сроке сева 11 апреля – 11,1 °С, при сроке сева 27 апреля – 14,7 °С и при сроке сева 11 мая – 18,0 °С. Сумма осадков составила 0, 13, 6 мм. ГТК за период посев – всходы составил – 0,0; 0,8 и 0,4 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 153, 150, 125 мм соответственно.

Также изменения сроков сева проявлялись и на последующие фазы развития растений и всего вегетационного периода. Так, при раннем сроке сева продолжительность периода всходы – 5-й настоящий лист составил 10 дней, при среднем и позднем сроке сева он составил 8 дней. Среднесуточная температура воздуха за этот период также была различная. При раннем сроке сева – 14,1 °С, при среднем сроке сева – 18,0 °С, при позднем сроке сева – 18,3 °С. Сумма осадков составила 8, 7 и 4 мм соответственно, значения ГТК за этот период были – 0,6; 0,5 и 0,3 соответственно. Запасы продуктивной влаги за период всходы – 5-й настоящий лист достигали 142, 132 и 123 мм соответственно.

Рассмотрим следующий период 5-й настоящий лист – появление боковых побегов: при раннем, среднем и позднем сроках сева продолжительность периода составила 20, 17 и 15 дней соответственно. Среднесуточная температура воздуха при этих же сроках сева составила 17,1; 18,5 и 14 °С соответственно. Сумма осадков составила 17, 9 и 14 мм соответственно. ГТК за данный период, при раннем сроке сева – 0,5, при среднем – 0,3 и при позднем – 0,7. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 130; 123 и 117 мм соответственно. Продолжительность периода появления боковых побегов - начало цветения при раннем и среднем сроках сева составила 15 дней, при позднем сроке сева – 13 дней. Среднесуточная температура воздуха при этих же сроках сева составила 19,1; 19,9 и 24,1 °С соответственно. Сумма осадков в этот период при раннем сроке сева составила 12 мм, при среднем – 17 мм, при позднем сроке сева – 9 мм. ГТК за данный период, при этих же сроках сева составил 0,4; 0,6 и 0,3 соответственно.

Таблица 2.2

Агрометеорологические условия периода вегетации культуры сои по основным межфазным периодам (2009-2010 гг.)

Показатели	Посев - всходы			Всходы - 5-й настоящий лист			5-й настоящий лист – появление боковых побегов			Появление боковых побегов - начало цветения			Начало цветения – образование бобов			Образование бобов - созревание			Посев - созревание		
	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок
2009 год																					
Продолжительность периода (дни)	14	11	9	10	8	8	20	17	15	15	15	13	11	10	8	50	50	47	120	111	100
Средняя температура воздуха (°С)	11,1	14,7	18,0	14,1	18	18,3	17,7	18,5	14,0	19,1	19,9	24,1	20,5	23,9	24,8	24,3	23,3	24,5	19,8	20,9	21,8
Сумма активных температур (°С)	156	162	162	141	144	146	354	315	209	286	299	314	225	239	198	1215	1167	1152	2377	2326	2181
Сумма эффективных температур (°С)	16	52	62	40	65	66	154	145	99	137	149	164	116	139	117	715	560	641	1178	1110	1149
Сумма осадков (мм)	0	13	6	8	7	4	17	9	14	12	17	9	13	5	1	35	35	34	85	86	68
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0	0,8	0,4	0,6	0,5	0,3	0,5	0,3	0,7	0,4	0,6	0,3	0,6	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3
Запасы продуктивной влаги в слое 0-100(мм)	153	150	125	142	132	123	130	123	117	121	114	102	114	102	94	95	93	92	116	110	102
2010 год																					
Продолжительность периода (дни)	12	10	9	10	7	7	17	17	17	15	15	14	11	10	11	51	50	43	116	109	101
Средняя температура воздуха (°С)	11	13,7	15,9	14,5	15,9	16,6	16,7	17,5	19,9	20,5	21,5	22,6	22,8	22,6	21,6	24,5	24,3	24,9	20,4	21,2	22,0
Сумма активных температур (°С)	133	137	143	145	111	116	284	298	339	308	322	317	251	226	237	1250	1215	1075	2371	2309	2227
Сумма эффективных температур (°С)	16	37	53	45	41	45	59	128	169	154	172	177	141	126	128	760	624	685	1175	1128	1257
Сумма осадков (мм)	21	11	8	6	4	17	47	81	80	58	21	7	1	16	54	117	101	50	250	234	216
Гидротермический коэффициент (ГТК)	1,6	0,8	0,6	0,4	0,4	1,5	1,7	2,5	2,4	1,9	0,7	0,2	0,04	0,7	2,3	0,9	0,8	0,5	1,1	1	0,9
Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 (мм)	195	186	175	186	175	169	177	169	165	165	149	160	149	152	156	152	140	147	166	156	154

Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 121 мм при раннем сроке сева, 114 и 102 мм – при среднем и позднем сроках сева.

Рассмотрим следующий период начало цветения – образование бобов. Продолжительность периода при раннем, среднем, позднем сроках сева составила 11, 10 и 8 дней соответственно. Среднесуточная температура воздуха при этих же сроках сева составила 20,5; 23,9 и 24,8 °С соответственно. Сумма осадков в этот период при раннем сроке сева составила 13 мм, при среднем – 5 мм, при позднем сроке сева – 1 мм. ГТК за данный период, при этих же сроках сева составил 0,6; 0,2 и 0,1 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили при раннем сроке сева – 114 мм, при среднем и позднем сроках сева 102 и 94 мм.

Продолжительность периода образование бобов – созревание составила при раннем и среднем сроках сева – 50 дней, при позднем сроке сева – 47 дней. Среднесуточная температура воздуха при этих же сроках сева составила 24,3; 23,3 и 24,5 °С соответственно. Сумма осадков при раннем и среднем сроках сева составила 35 мм, при позднем сроке сева – 34 мм. ГТК за данный период, при всех сроках сева составил 0,3. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили при раннем сроке сева – 95 мм, при среднем и позднем сроках сева 93 и 92 мм.

В 2009 году соя произрастала в условиях теплой солнечной, но очень засушливой погоды. Средняя температура воздуха за период вегетации составила 19,8 °С (при раннем сроке сева), 20,9 °С (при среднем сроке сева) и 21,8 °С (при позднем сроке сева). Сумма активных температур (выше 10 °С) при данных сроках сева составила 2377, 2326 и 2181 °С соответственно. За весь вегетационный период осадков выпало 85 мм (при раннем сроке сева), 86 мм (при среднем сроке сева) и 68 мм (при позднем сроке сева). Вследствие этого запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см составили 116, 110 и 102 мм. ГТК за данный период в среднем составил 0,4, что дает возможность отнести

год к сильно засушливому году. Погодные условия 2009 года были крайне неблагоприятными для выращивания сои. В результате этого урожай сои составил 7,6; 8,2 и 6,7 ц/га при раннем, среднем и позднем сроках сева соответственно.

На рис. 2.2 представлены агрометеорологические условия периода вегетации сои в 2010 году. Ранний срок сева из-за неблагоприятных погодных условий немного сдвинулся и проводился 15 апреля, средний срок сева – 25 апреля и поздний срок сева – 5 мая. Нумерация декад начинается со второй декады апреля. Так, на дату сева температура воздуха составила 10,5 °С (ранний срок), 11,5 °С (средний) и 15,8 °С (поздний). Осадки соответственно составили 27, 14 и 2,4 мм. Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см при раннем сроке на дату сева составили 182 мм, при среднем – 200 мм и при позднем сроке сева – 175 мм. На конец вегетации при раннем сроке сева температура воздуха составила 25,4 °С, при среднем – 28,7 °С и 27,9 °С при позднем сроке. Осадков при всех вариантах сева не наблюдались. Запасы продуктивной влаги составили соответственно – 140, 125 и 80 мм (рис. 2.2).

Из табл. 2.2 видно, что при раннем сроке сева (15 апреля) продолжительность периода (посев – всходы) составила 12 дней, при среднем сроке сева (25 апреля) продолжительность периода составила 10 дней, а при позднем сроке сева (5 мая) продолжительность периода от сева до массового появления всходов сократилась до 9 дней. Среднесуточная температура воздуха за период посев – всходы была также различной. При сроке сева 15 апреля – 11,0 °С, при сроке сева 25 апреля – 13,7 °С и при сроке сева 5 мая – 15,9 °С. Сумма осадков – 21, 11 и 8 мм соответственно. ГТК – 1,6, 0,8 и 0,6 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 195, 186 и 175 мм соответственно. В период всходы – 5-й настоящий лист продолжительность периода при раннем сроке сева составила 10 дней, при среднем и позднем сроке сева она составила 7 дней. Среднесуточная температура воздуха за этот период также была различной.

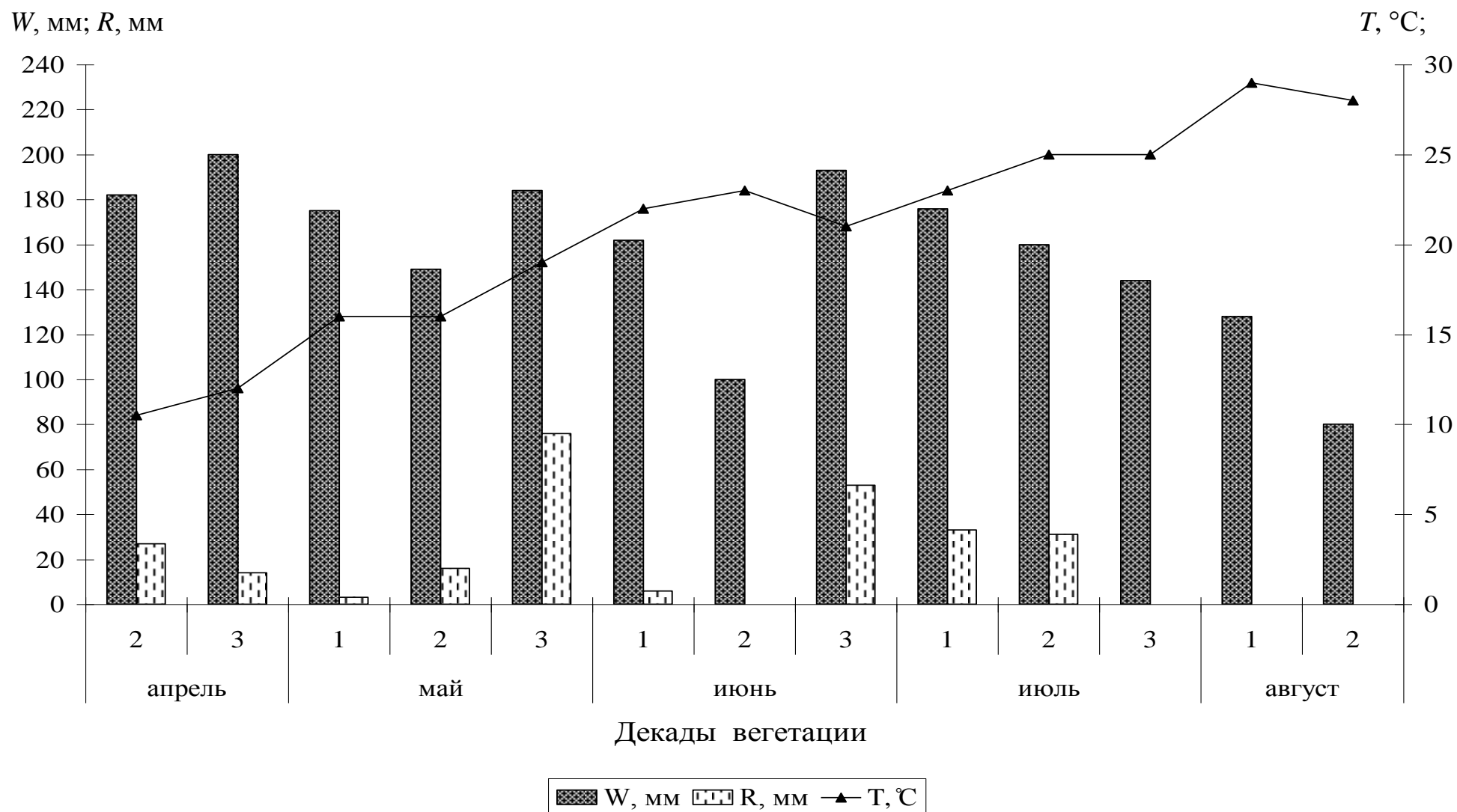


Рис. 2.2. Агрометеорологические условия периода вегетации культуры сои в Одесской области в 2010г., с. Черноморка: W_{0-100} – запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см; R – сумма осадков за декаду; T – среднедекадная температура воздуха

Среднесуточная температура воздуха за этот период также была различная. При раннем сроке сева – 14,5 °С, при среднем сроке сева – 15,9 °С, при позднем сроке сева – 16,6 °С. Сумма осадков составила 6, 4, 17 мм соответственно. ГТК за этот период составил – 0,4; 0,4 и 1,5 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 186, 175 и 169 мм соответственно.

Рассмотрим следующий период 5-й настоящий лист – появление боковых побегов: продолжительность периода при всех трех сроках сева составила одинаково – 17 дней. Среднесуточная температура воздуха при этих же сроках сева была 16,7; 17,5 и 19,9 °С соответственно. Сумма осадков при этих же сроках составила 47, 81 и 80 мм соответственно. ГТК за данный период, при раннем сроке сева – 1,7, при среднем – 2,5 и при позднем – 2,4. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период достигали 177, 169 и 165 мм соответственно.

Продолжительность периода появления боковых побегов - начало цветения при раннем и среднем сроках сева составила 15 дней, при позднем – 14 дней. Среднесуточная температура воздуха при этих же сроках сева составила 20,5; 21,5 и 22,6 °С соответственно. Сумма осадков в этот период при раннем сроке сева была 58 мм, при среднем – 21 мм, при позднем сроке сева – 7 мм. ГТК за данный период, при этих же сроках сева составил 1,9; 0,7 и 0,2 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период достигали 165 мм при раннем сроке сева, 149 и 160 мм – при среднем и позднем сроках сева.

Рассмотрим следующий период начало цветения – образование бобов. Продолжительность периода при раннем, среднем, позднем сроках сева составила 11 дней, 10 дней и 11 дней соответственно. Среднесуточная температура воздуха при этих же сроках сева составила 22,8; 22,6 и 21,6 °С соответственно. Сумма осадков в этот период при раннем сроке сева была 1 мм, при среднем – 16 мм, при позднем сроке сева – 54 мм. ГТК за данный период, при этих же сроках сева составил 0,04; 0,7 и 2,3

соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили при раннем сроке сева – 149 мм, при среднем и позднем сроках сева 152 и 156 мм.

Продолжительность периода образование бобов – созревание составила 51 день (ранний), 50 дней (средний), 43 дня (поздний). Среднесуточная температура воздуха при раннем, среднем сроках сева составила 24,5 и 24,3 °С, при позднем – 24,9 °С. Сумма осадков при раннем и среднем сроках сева была 117 и 101 мм и при позднем сроке сева – 50 мм. ГТК за данный период составил 0,9, 0,8, 0,5 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период достигали – 152, 140 и 147 мм.

За весь вегетационный период средняя температура воздуха составила 20,4 °С (при раннем сроке сева), 21,2 °С (при среднем сроке сева) и 22,0 °С (при позднем сроке сева). Сумма активных температур (выше 10°С) при данных сроках сева составила 2371, 2309 и 2227 °С соответственно. Осадков за весь период вегетации выпало 250 мм (при раннем сроке сева), 234 мм (при среднем сроке сева) и 216 мм (при позднем сроке сева). Вследствие этого запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см составили 166, 156 и 154 мм. ГТК за данный период в среднем составил 1, что дает возможность отнести год к засушливому.

Агрометеорологические условия исследуемых лет существенно отличались друг от друга как по температурному режиму, так и по условиям увлажнения и распределения в течении вегетационного периода осадков. В отличие от 2009 года, погодные условия 2010 года были более благоприятными. Только в начале вегетации средняя температура воздуха была ниже 15 °С, однако в последующие периоды она была высокой до 26°С. За вегетационный период выпало большое количество осадков, которые хотя и неравномерно распределялись, но обеспечили хорошую влажность почвы под соей. В результате этого урожай сои в 2010 году составил 14,2; 16,1 и 12,4 ц/га соответственно, что в среднем в два раза больше чем в предыдущем году [79].

2.2. Влияние факторов внешней среды на морфогенез и фотосинтетическую продуктивность сои

В современной агрометеорологии все чаще для исследования влияния факторов внешней среды на продуктивность сельскохозяйственных культур применяются модели продукционного процесса. Для разработки моделей продукционного процесса необходимо детально изучить морфологические особенности растений, изменения показателей фотосинтетической деятельности растений на протяжении вегетационного периода, требования растений до факторов внешней среды в разные фазы роста.

2.2.1. Динамика биомассы отдельных органов растений

В онтогенезе растительные организмы проходят ряд этапов: эмбриональный, ювенильный, зрелости и размножения, старости и отмирания. Каждый из этих этапов в свою очередь включает в себя несколько последовательных фаз роста и развития. При этом происходят многообразные изменения формы растения и в самом организме растения совершаются сложнейшие биохимические процессы. Основные процессы онтогенеза растения: вегетативный рост и репродуктивное развитие определяются не только различными условиями внешней среды, но и разными морфофизиологическими условиями самого растения, и находятся постоянно в тесном взаимодействии друг с другом [19, 50].

В течение периода вегетации растения сои в ходе онтогенеза проходят 12 этапов органогенеза. Характеристика этих основных периодов органогенеза растений, подробное описание признаков, по которым определяются фенологические фазы, возрастные периоды, стадии развития и этапы органогенеза обобщены Ф.М. Куперман [50, 70, 95, 118].

В 2009 и 2010 годах были проведены наблюдения за посевами сои при различных сроках сева на наблюдательных участках агрометеорологической

лаборатории с. Черноморка. В 2009 году, всходы сои появились на 14-ый день при раннем сроке сева, на 11-ый день – при среднем сроке сева и при позднем сроке – на 9-ый день после посева (табл. 2.2). Появление пятого настоящего листа отмечалось через 10 дней при раннем сроке сева, а при среднем и позднем сроках через 8 дней после всходов. Образование боковых побегов произошло через 20 дней (ранний), 17 дней (средний), 15 дней (поздний) после фазы пятого настоящего листа. Затем наступила фаза цветения. При раннем и среднем сроках сева наступление этой фазы отмечалось через 15 дней, при позднем сроке – 13 дней после появления боковых побегов. Начало образования бобов, по литературным источникам [54, 63] считается появление первых бобов длиной 1 см. В 2009 году эта фаза наступила через 11 дней (ранний), 10 дней (средний), 8 дней (поздний) после цветения.

Развитие по этим фазам в 2010 году отличалось от предыдущего года. Так, в 2010 году всходы сои появились на 12-ый, 10-ый и 9-ый дни при раннем, среднем и позднем сроках посева, появление пятого листа отмечалось при этих же сроках сева через 10, 7 и 7 дней после всходов; появление боковых побегов наблюдалось через 17 дней при всех трех сроках после фазы пятого настоящего листа. Фаза цветения наблюдалась через 15 дней (ранний и средний) и 14 дней (поздний) после появления боковых побегов. Образование бобов отмечалось через 11 дней (ранний, поздний), 10 дней (средний) после цветения. Несмотря на календарные различия сроков прохождения межфазных периодов, можно с уверенностью утверждать о высокой степени синхронности ростовых процессов сои в 2009 и 2010 годах. Подтверждением тому служат результаты исследования динамики накопления биомассы отдельных органов растений.

Согласно методике проведения биометрических наблюдений (табл. 2.1) была определена динамика массы листьев, стеблей, корней, бобов сои в течение вегетации. Анализируя структуру урожая сои, мы учитывали, также массу всего растения.

Рассмотрим график динамики накопления общей сухой биомассы (M) растений сои по декадам при различных сроках сева в 2009 и 2010 годах

(рис. 2.3, 2.4), включающих в себя, согласно программе полевого опыта определение биомассы листьев, стеблей, корней и бобов. Начальная биомасса растений на 1 м² в 2009 году при раннем сроке составляла 13 г/м², при среднем – 15 г/м², при позднем – 9 г/м². На дату созревания конечная сухая биомасса уменьшалась, в связи с уменьшением биомассы листьев и стеблей и составляла соответственно 490, 554 и 451 г/м² (рис. 2.3). Максимальные значения общей сухой биомассы наблюдаются при среднем сроке сева и составляют 580 г/м², наименьшие показатели соответствуют позднему сроку сева и составляют 473 г/м².

В 2010 году начальная биомасса растений на 1 м² составляла 17 г/м² (ранний), 20 г/м² (средний), 11 г/м² (поздний). На дату созревания конечная сухая биомасса составляла соответственно 733, 849 и 670 г/м² (рис. 2.4). Максимальные значения общей сухой биомассы (также как и 2009 году) наблюдаются среднем сроке сева и составляют 881 г/м², наименьшие соответствуют позднему сроку сева и составляют 672 г/м².

Синхронность процессов накопления биомассы сои в 2009 и 2010 гг. (рис. 2.3, 2.4) определяется генетической и экологической обусловленностью интенсивности и направленности роста растений одного и того же сорта – Аркадия одесская.

Согласно исследованиям Ф.М. Куперман, Д.А. Сабинаина, Э. Синнота, Т.И. Серебряковой и других авторов [50, 86, 91, 95] внутренняя регуляция роста осуществляется специфическим аппаратом наследственности через систему многочисленных и много ступенчатых физиологических процессов от внутренних факторов. Исследовались также динамика и скорость накопления биомассы отдельных органов растений.

На рис. 2.5 и 2.6 (*а* - ранний, *б* - средний, *в* - поздний сроки сева) представлены кривые изменчивости сухой биомассы отдельных органов: листьев, корней, стеблей и бобов растений сои в 2009 и 2010 годах [79, 106].

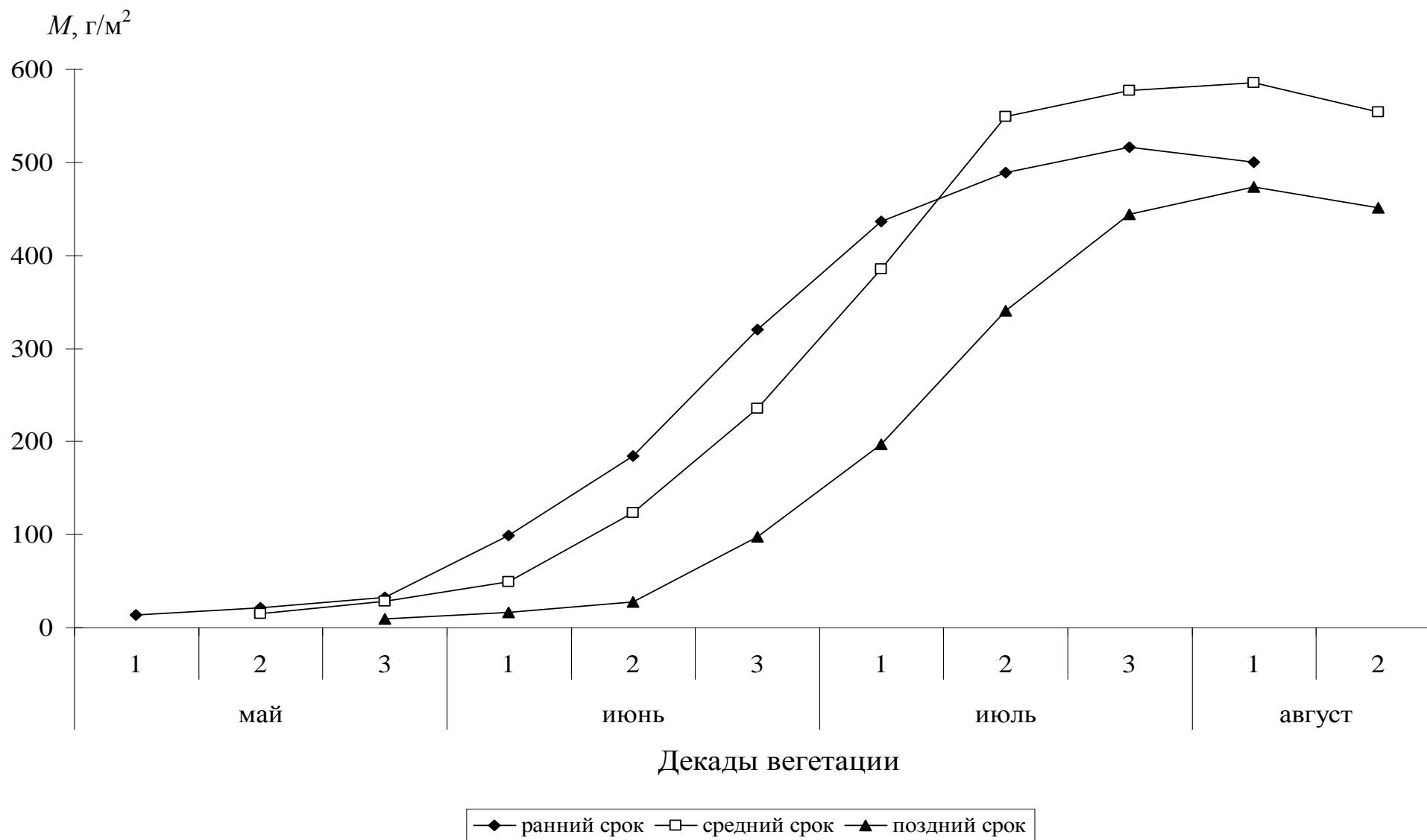


Рис. 2.3. Динамика накопления общей сухой массы (M) растений сои при разных сроках сева в 2009 году

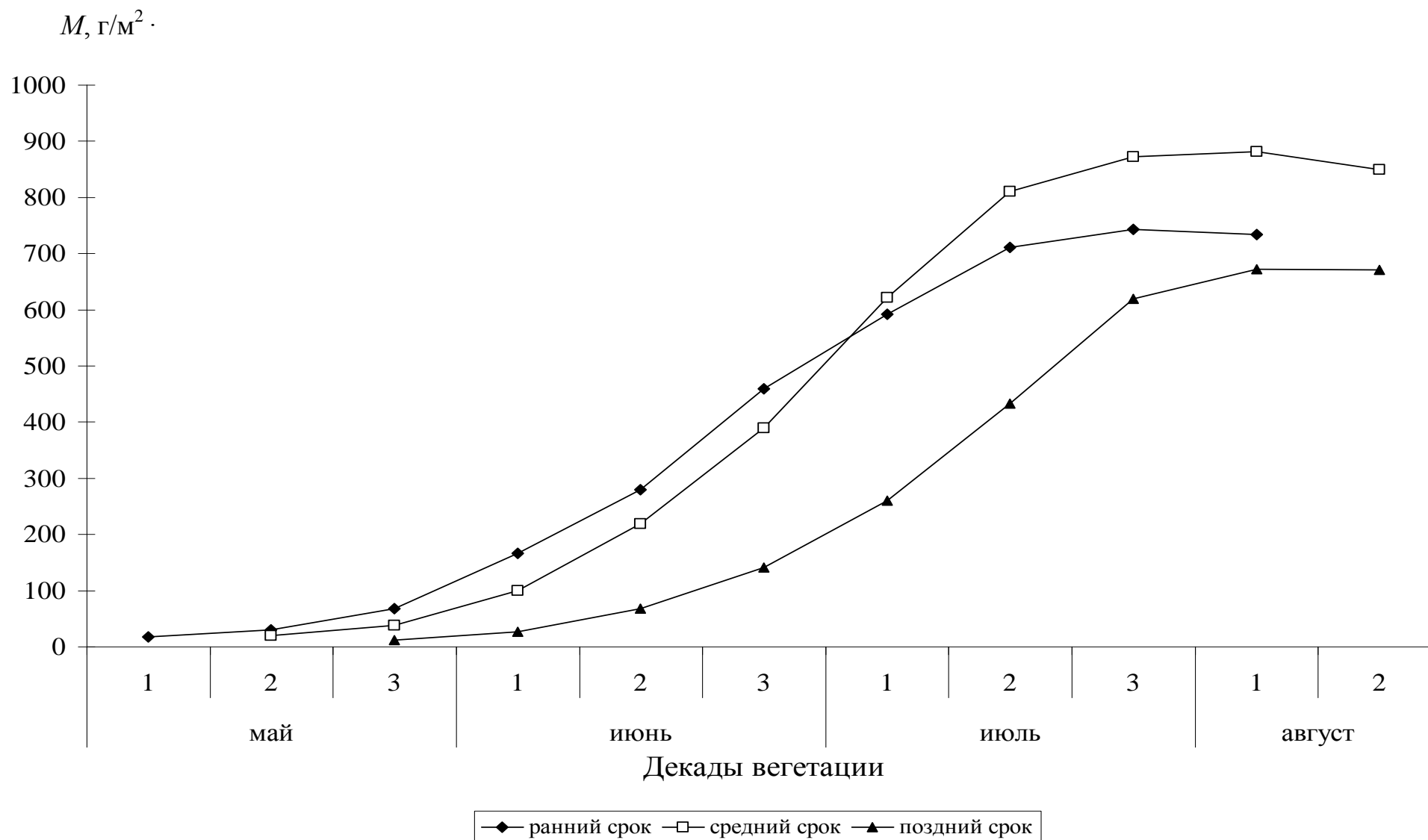


Рис. 2.4. Динамика накопления общей сухой массы (M) растений сои при разных сроках сева в 2010 году

Анализируя представленные на рис. 2.5 и 2.6 кривые можно отметить, что биомасса как листьев, так и стеблей в начале вегетации медленно увеличивается, а после образования боковых побегов до образования бобов быстро возрастает. Причем максимальная биомасса стеблей, обычно достигается несколько позже, чем максимальная биомасса листьев.

К концу вегетации биомасса листьев и стеблей резко уменьшаются и к моменту полного созревания листья отмирают. Максимальные значения биомассы листьев в 2009 и 2010 годах наблюдаются при среднем сроке сева и составляют 196 и 272 г/м² соответственно (рис. 2.5б, 2.6б). Наименьшие показатели соответствуют позднему сроку сева и составляют 156 и 220 г/м² соответственно (рис. 2.5в, 2.6в). Максимальные значения биомассы стеблей в 2009 и 2010 годах также наблюдаются при среднем сроке сева и составляют 163 и 235 г/м² соответственно (рис. 2.5б, 2.6б). Наименьшие показатели соответствуют позднему сроку сева и составляют 134 и 183 г/м² (рис. 2.5в, 2.6в).

Несколько иначе изменяется ход биомассы корней. Биомасса корней медленно возрастает в течении вегетации и остается почти постоянной после достижения максимальной величины. Максимальные значения биомассы корней в 2009 и 2010 годах наблюдаются при среднем сроке сева и составляют 99 и 143 г/м² соответственно (рис.2.5б, 2.6б). Наименьшие показатели соответствуют позднему сроку и составляют 84 и 116 г/м² соответственно (рис. 2.5в, 2.6в).

Для кривых накопления сухой биомассы репродуктивных органов (бобов) характерен сигмовидный тип, они содержат участок интенсивного нарастания, точку перегиба и участок интенсивного роста.

Максимальные значения биомассы бобов наблюдаются на дату созревания и соответствуют среднему сроку сева, как в 2009 так и в 2010 году, составляя 197 и 294 г/м² соответственно (рис. 2.5б, 2.6б). Наименьшие показатели соответствуют позднему сроку, составляя 149 и 116 г/м² соответственно (рис. 2.5в, 2.6в).

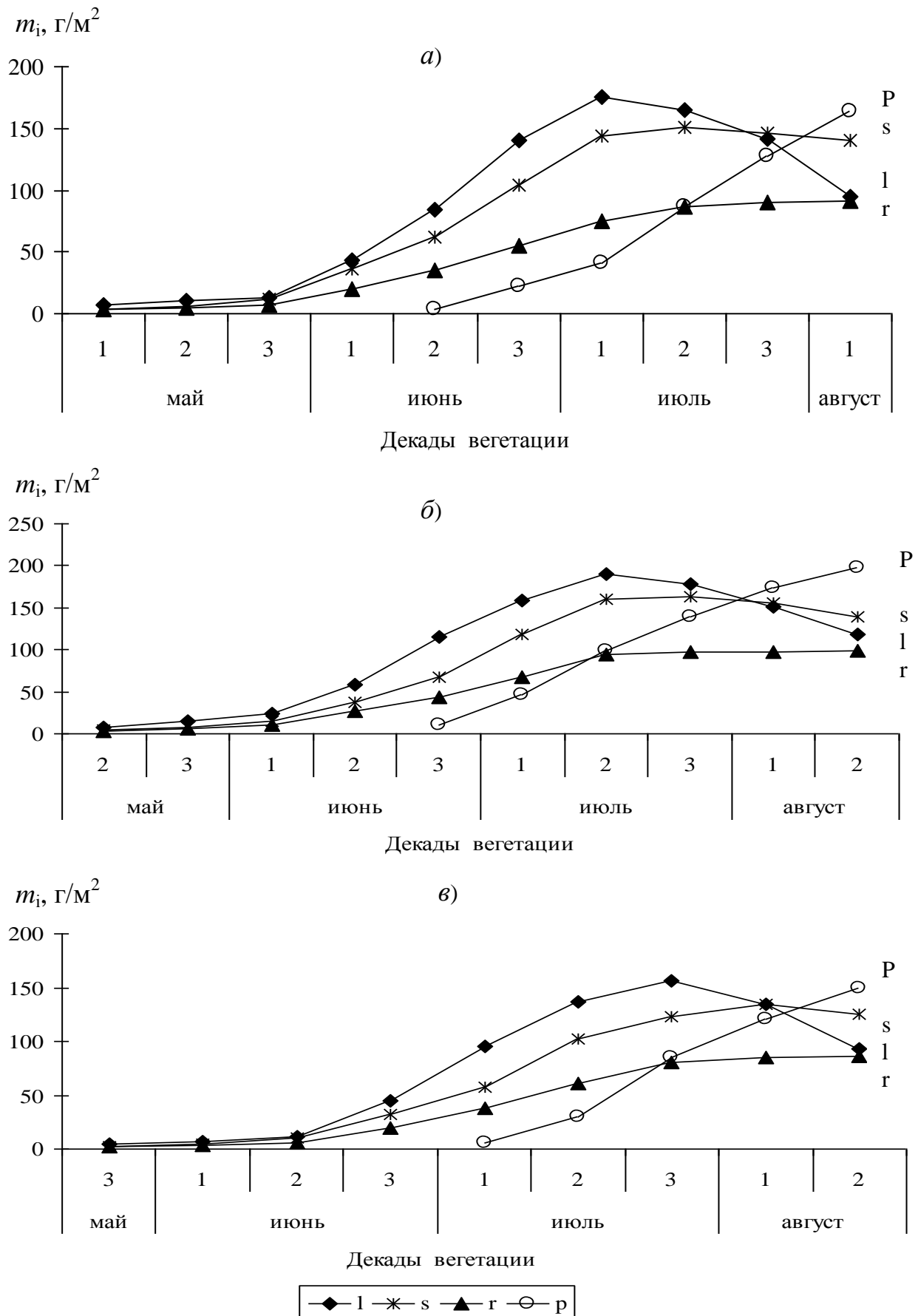


Рис. 2.5. Динамика накопления сухой биомассы (m) листьев (l), стеблей (s), корней (r), бобов (p) сои по данным 2009 года при раннем сроке сева (a), при среднем сроке сева (b), при позднем сроке сева ($в$)

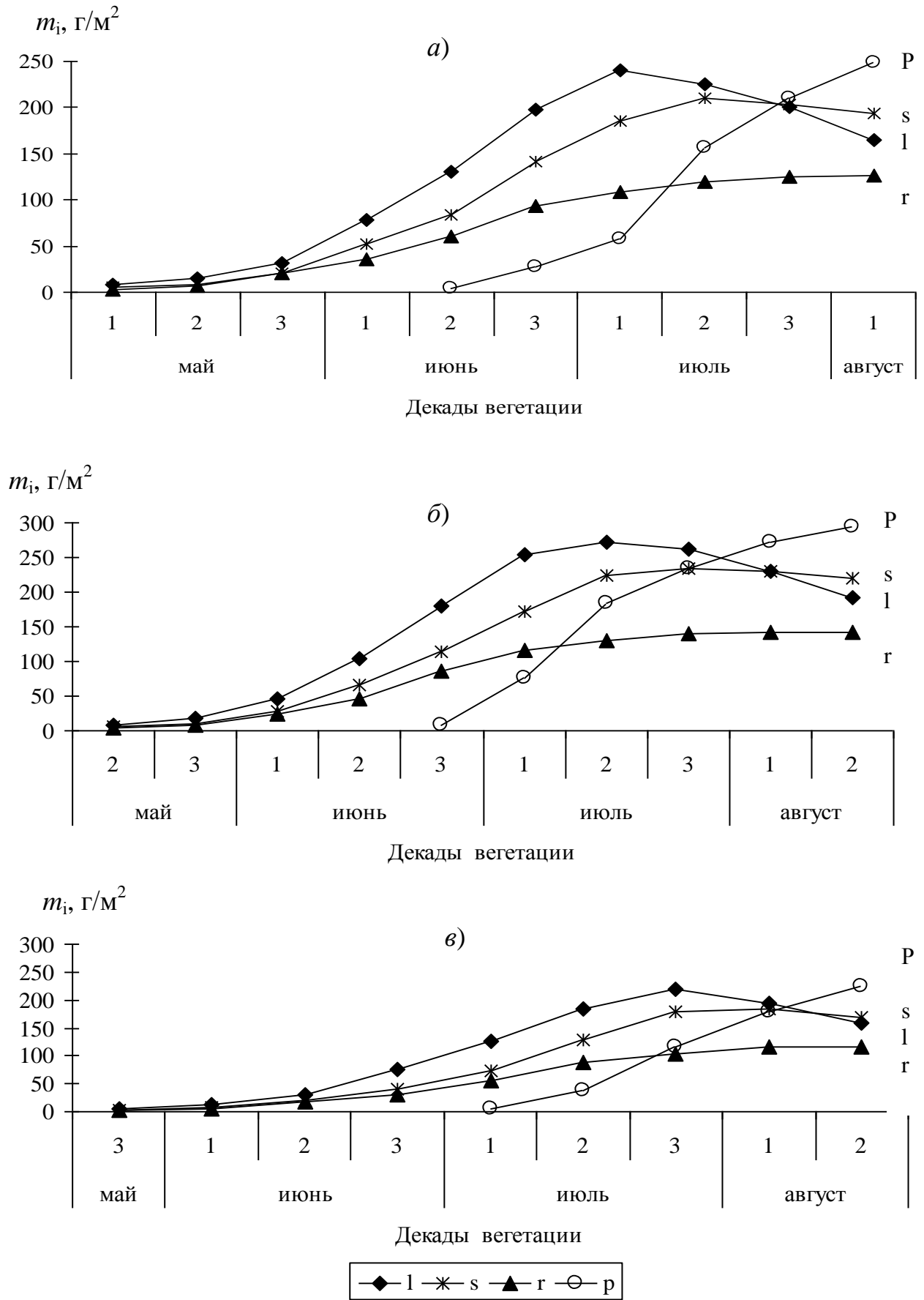


Рис. 2.6. Динамика накопления сухой биомассы (m) листьев (l), стеблей (s), корней (r), бобов (p) сои по данным 2010 года при раннем сроке сева (a), при среднем сроке сева (b), при позднем сроке сева (v)

На рис. 2.7 и рис. 2.8 представлены скорости изменения общей сухой биомассы растений сои при разных сроках сева. Максимальные приросты в 2009 году составляют при раннем сроке сева 135 г/м^2 , при среднем – 164 г/м^2 и при позднем – 143 г/м^2 . Максимальные приросты в 2010 году составляют 180 г/м^2 (при раннем), 232 и 187 г/м^2 (среднем, позднем) соответственно.

Необходимо отметить, что и в 2009, и в 2010 годах отмечались спады скорости накопления биомассы вегетативных органов, хорошо заметные на графиках (рис. 2.7, 2.8). Из комплексных графиков (рис. 2.1, 2.2) видно, что в эти периоды наблюдалось снижение запасов продуктивной влаги ввиду отсутствия осадков и повышения температуры воздуха, вызвавшие кратковременные замедления скорости роста растений сои (табл. 2.2).

Прекращение прироста вегетативных органов в 2009 и 2010 годах, происходит после фазы образования бобов и происходит уменьшение размеров их биомассы за счет перетока пластических веществ в бобы и естественного отмирания биомассы этих органов (рис. 2.7, 2.8).

Отмечено также, что биомасса бобов монотонно возрастает от момента образования первых бобов до полного их созревания. В это время активно идет процесс накопления органических питательных веществ в бобах сои.

2.2.2. Анализ динамики площади листовой поверхности и основных показателей фотосинтетической продуктивности посевов сои

Урожайность растений определяется, прежде всего, размерами ассимиляционной поверхности, продолжительностью и интенсивностью ее работы [65, 67, 85, 107]. При этом важное условие для получения высокого урожая заключается в том, чтобы площадь листовой поверхности посева увеличивалась, достигала оптимальной величины наиболее быстро и долго удерживалась в активном состоянии, снабжая ассимилянтами репродуктивные и запасующие органы.

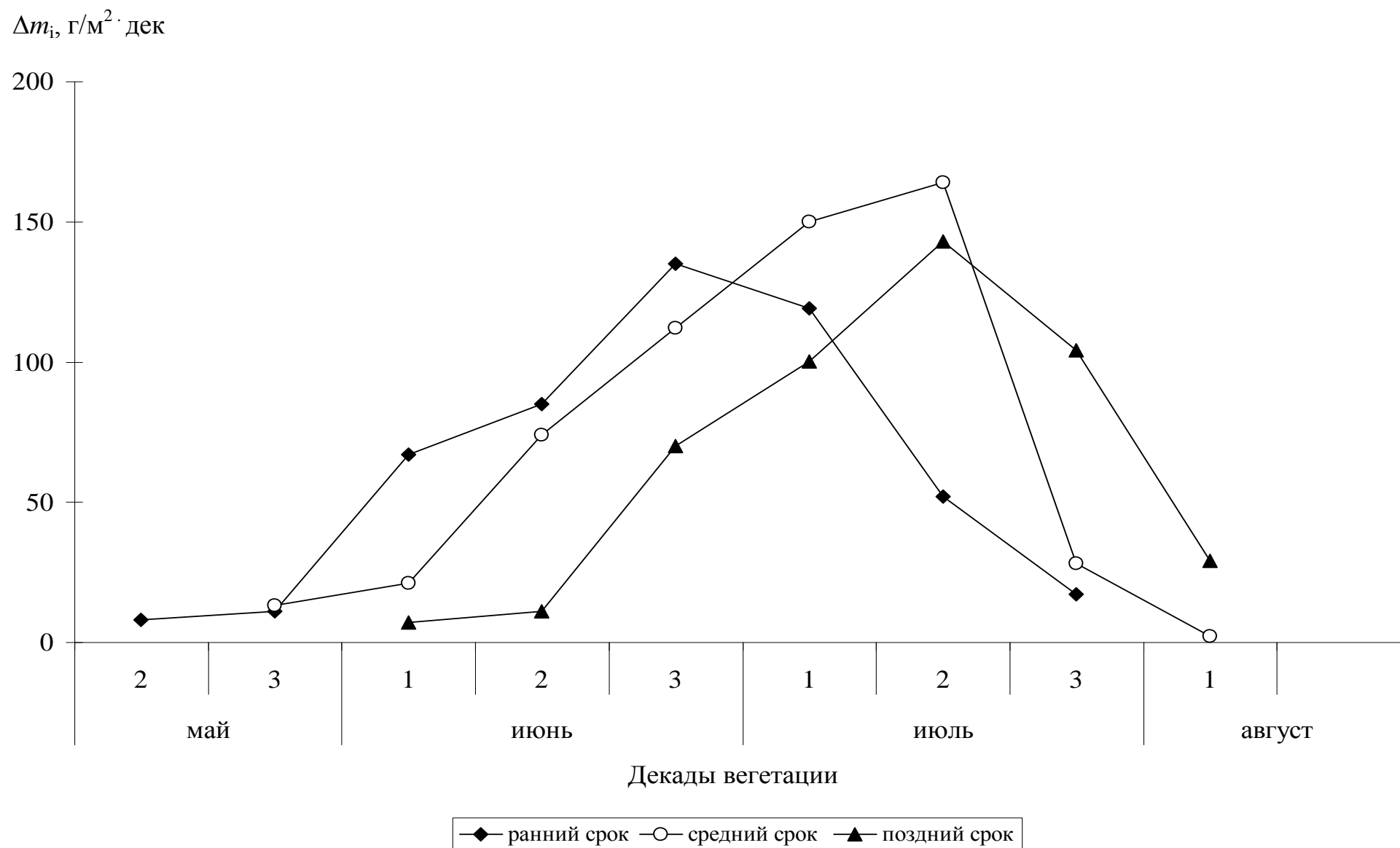


Рис. 2.7. Скорость изменения общей сухой биомассы (Δm_i) сои при разных сроках сева по данным 2009 года

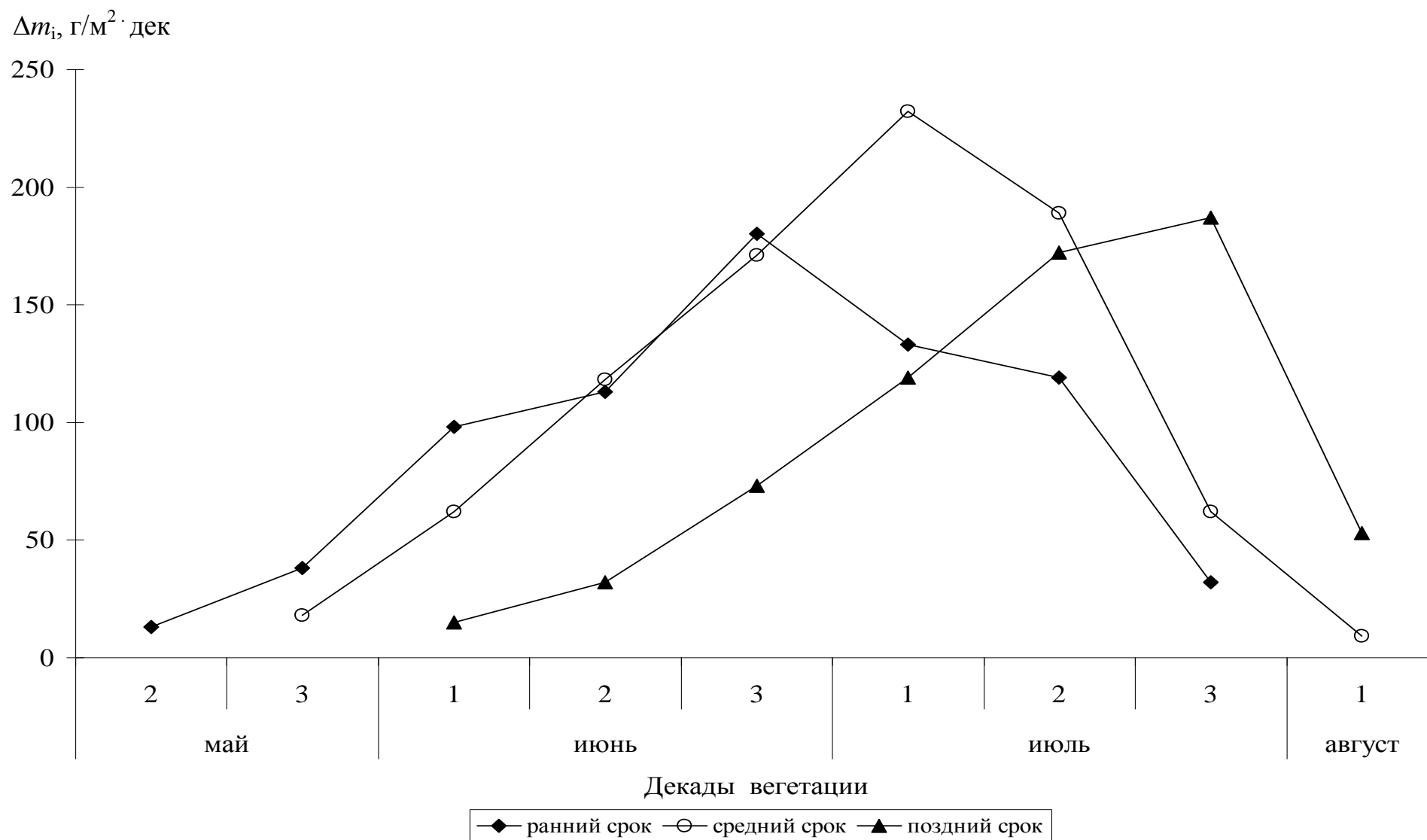


Рис. 2.8. Скорость изменения общей сухой биомассы (Δm_i) сои при разных сроках сева по данным 2010 года

В конце вегетационного периода важно, чтобы листья перемещали в репродуктивные или запасающие органы максимальное количество пластических веществ, накопившихся в структурах самих листьев [17, 152].

Основную часть ассимиляционной поверхности составляют листья, именно в них осуществляется фотосинтез. Фотосинтез может происходить и в других зеленых частях растений – стеблях, осях, зеленых плодах и т.п., однако вклад этих органов в общий фотосинтез обычно небольшой. Принято сравнивать посевы между собой, а также различные состояния одного посева в динамике по площади листьев, отождествляя ее с понятием «ассимиляционная поверхность» [67, 102, 161].

Однако величина площади листовой поверхности очень изменчива и зависит от комплекса условий внешней среды, особенно от условий тепла, влагообеспеченности и уровня минерального питания. В благоприятные по метеорологическим условиям годы она может, согласно А.А. Ничипоровичу [64, 66, 67], в 1,5 – 3,5 раза превосходить среднюю многолетнюю и в 3 – 4 раза – наблюдаемую в сухие годы.

В 2009 и 2010 годах было проведено исследование основных элементов фотосинтетической деятельности растений сои при различных сроках сева: изменения площади листьев, фотосинтетического потенциала посевов сои и чистой продуктивности фотосинтеза [79].

Рассмотрим динамику изменения площади листовой поверхности сои при трех сроках сева. Из рис. 2.9 (2009 г.) и рис. 2.10 (2010 г.) видно, что в течение вегетации четко выражен период с более интенсивным нарастанием площади листовой поверхности. Динамика площади листьев в посевах подчиняется определенной закономерности. Во всех трех сроках сразу после появления 5-го настоящего листа растений площадь листьев идет медленно, затем темпы нарастания увеличиваются. К моменту массового цветения площадь листьев достигает максимальных значений, затем площадь листьев к моменту налива

семян быстро снижается в связи с пожелтением и отмиранием нижних листьев и к концу полной спелости семян листья опадают [44, 53, 58].

Так в 2009 год максимальных значений площадь листьев достигла в фазе массового цветения и составила при раннем сроке сева $3,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при среднем сроке сева $4,1 \text{ м}^2/\text{м}^2$, и при позднем сроке $3,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (рис. 2.9).

В 2010 году максимальных значений площадь листьев достигла также как и в предыдущем году в фазу массового цветения и составила соответственно по срокам сева $4,3$; $4,7$ и $4,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (рис. 2.10).

К моменту созревания, из-за отмирания и опадения нижних листьев, величина листовой поверхности уменьшилась и составила в 2009 году – $0,9$; $1,0$ и $0,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$ соответственно, в 2010 году площадь листьев была $1,4$; $1,5$ и $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ соответственно [79].

Главным фактором урожайности растений является фотосинтез, на долю которого приходится до 95 % всей накопленной в растении энергии. В то же время фотосинтез листьев является главным физиологическим показателем, по которому можно судить о норме реакции на разные условия окружающей среды, а также о реакции на проведение агротехнических приемов выращивания той или иной культуры.

Процесс фотосинтеза в свою очередь зависит от целого комплекса факторов, важнейшими из которых, по мнению большинства исследователей, являются: радиационный режим, концентрация CO_2 в посевах, термический режим и увлажнение, минеральное питание, в первую очередь – его листового аппарата [13, 107, 115, 121].

Соя очень требовательна к интенсивности освещения, так как фотосинтез активно протекает только при контакте листовой поверхности с прямыми солнечными лучами. Основными процессами, в результате которых формируется растительная масса, являются фотосинтез и дыхание. Поэтому процесс фотосинтеза является основным звеном в общей продуктивности растений.

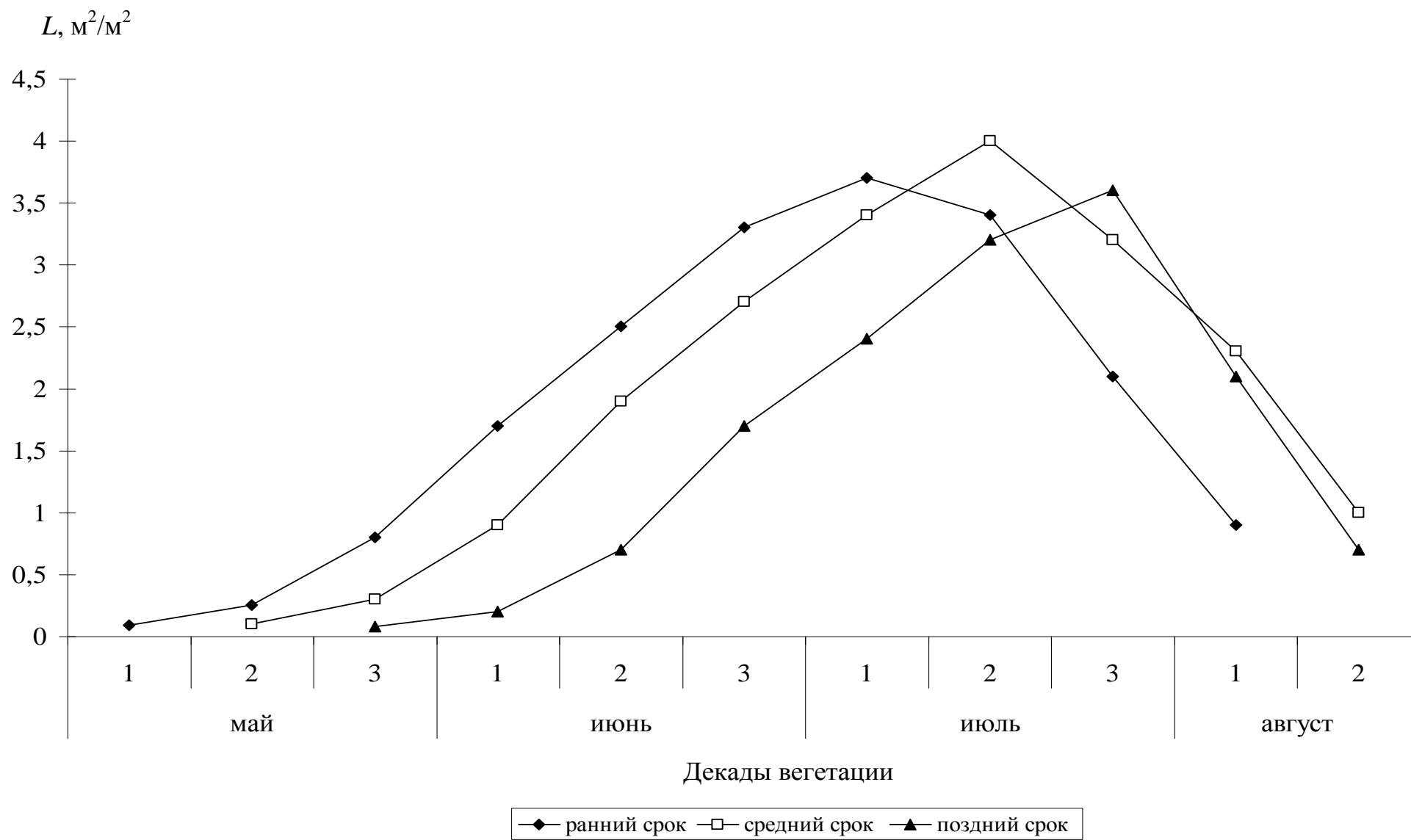


Рис. 2.9. Динамика площади листовой поверхности (L) растений сои за период вегетации при разных сроках сева в 2009 году

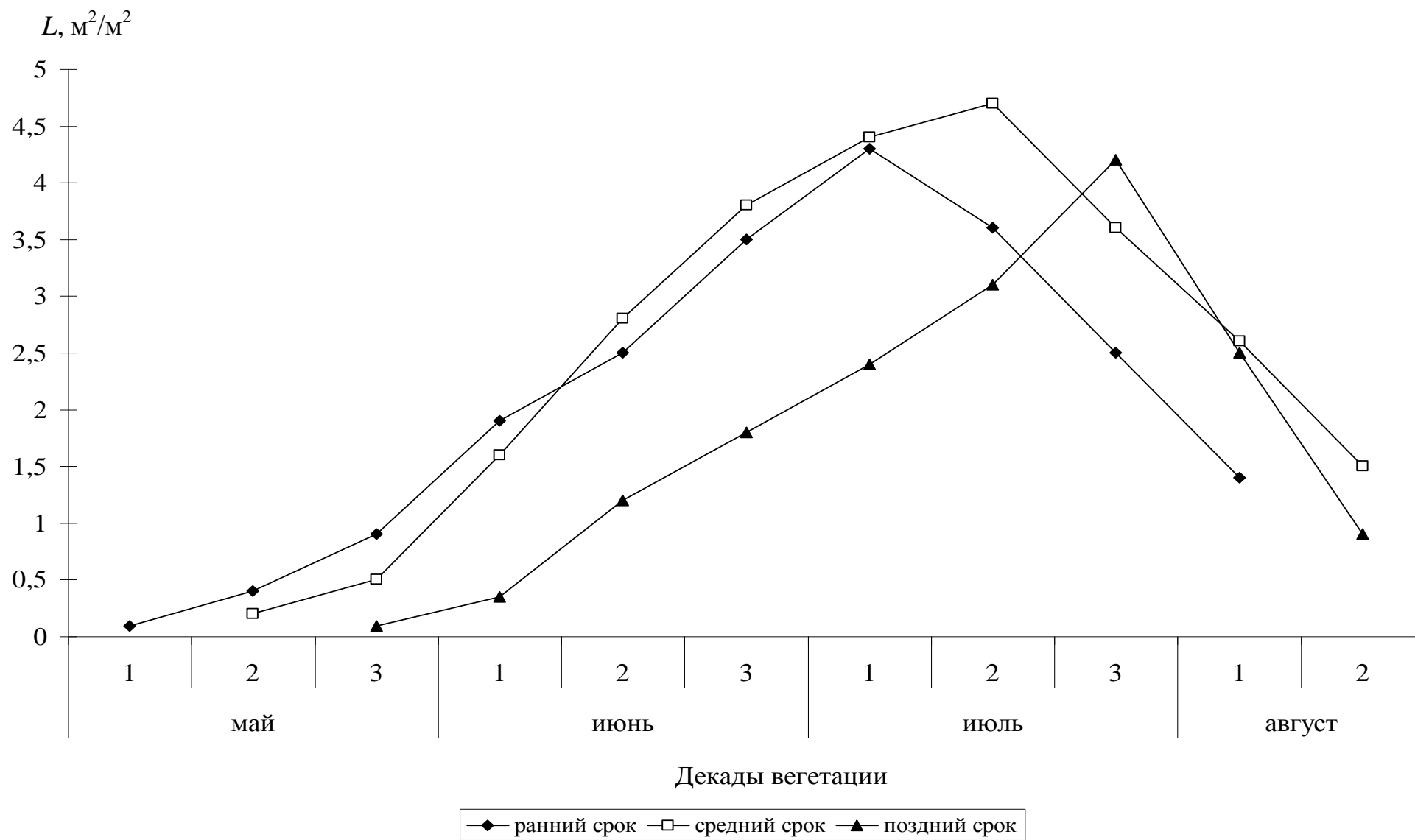


Рис. 2.9. Динамика площади листовой поверхности (L) растений сои за период вегетации при разных сроках сева в 2010 году

Продуктивность фотосинтеза определяется агрометеорологическими факторами, которые постоянно изменяются в течение всего вегетационного периода. На определенном этапе развития растения продуктивность фотосинтеза единицы площади листьев при заданных условиях освещения зависит от агрометеорологических условий, а именно от температуры воздуха и условий увлажнения.

Соя, как и большинство сельскохозяйственных культур, относится к так называемым C_3 -растениям. У них одновременно с фотосинтезом происходит выделение из листьев части ассимилированной углекислоты в процессе дыхания на свету [54, 152]. Это приводит к тому, что реальная величина ассимиляции CO_2 у C_3 -растений оказывается значительно меньше осуществляемого фотосинтеза. Поскольку фотодыхание снижает эффективность фотосинтеза, многие исследователи считали его ненужным и даже расточительным процессом [67, 137, 161].

Чистая продуктивность фотосинтеза ($ЧПФ$) характеризует интенсивность фотосинтеза посева и представляет собой количество сухой массы растений в граммах, которое синтезирует $1m^2$ листовой поверхности за сутки.

Чистая продуктивность фотосинтеза рассчитывается по формуле, предложенной Киддом, Вестом и Бриггсом

$$ЧПФ = \frac{B_2 - B_1}{0,5(L_1 + L_2)T}, \quad (2.1)$$

где B_1 и B_2 – вес сухой массы растений с единицы площади в начале и в конце учитываемого периода, $г/м^2$ декаду;

L_1 и L_2 – площадь листа растений с той же площади посева в начале и в конце того же периода $м^2/м^2$;

T – количество дней в декаде, дн.

Фотосинтетический потенциал посевов сои ($ФП$) тесно связан как с площадью листовой поверхности, так и с продолжительностью тех или иных фенологических фаз и определяется по формуле

$$\Phi\Pi = \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot T, \quad (2.2)$$

где $\frac{L_1 + L_2}{2}$ – средняя площадь листьев за данный период, м²/м²·дек.

Результатирующим показателем продукционного процесса является чистая продуктивность фотосинтеза (*ЧПФ*), которая позволяет учесть не только темпы образования органического вещества на единицу листовой поверхности, но и потери органического вещества в результате процесса дыхания, отмирания и опадания части листьев в течении вегетации

Динамика чистой продуктивности фотосинтеза сои в 2009-2010 годах представлена на рис. 2.11 и 2.12. *ЧПФ* варьирует в течение вегетации. В первые декады вегетации *ЧПФ* повышается, так как в начале вегетации растения не затеняют друг друга, все листья хорошо освещены. В дальнейшем с увеличением площади листьев *ЧПФ* начинает уменьшаться в связи с ухудшением условий освещенности нижних листьев.

Ухудшения условий влагообеспеченности также приводит к снижению *ЧПФ*. Из рис. 2.11 (2009 год) и рис. 2.12 (2010 год) видно, что падение и рост кривых хода *ЧПФ* наблюдаются в одни и те же периоды.

Так в 2009 году (рис. 2.11) резкое падение *ЧПФ* наблюдается в третьей декаде июня при трех сроках сева, сумма осадков в данный период была равна нулю. Рост *ЧПФ* приходится на декады с максимальным количеством осадков (2-я декада июня и 1-я декада июля). Наиболее высокие значения *ЧПФ* составляют 5,0 г/м²·сут (ранний), 5,3 г/м²·сут (средний) и поздний срок – 4,2 г/м²·сут.

В 2010 году (рис. 2.12) резкое падение *ЧПФ* наблюдается во второй декаде, в период, когда сумма осадков также была равна нулю. Рост *ЧПФ* приходится на декады с максимальным количеством осадков.

В первые декады вегетации во всех трех случаях также как и в 2009 году наблюдается интенсивный рост *ЧПФ*. Наиболее высокие значения *ЧПФ* составляют 5,6 г/м²·сут (ранний), 5,9 г/м²·сут (средний) и 5,4 г/м²·сут (поздний).

ЧПФ, г/м² сут

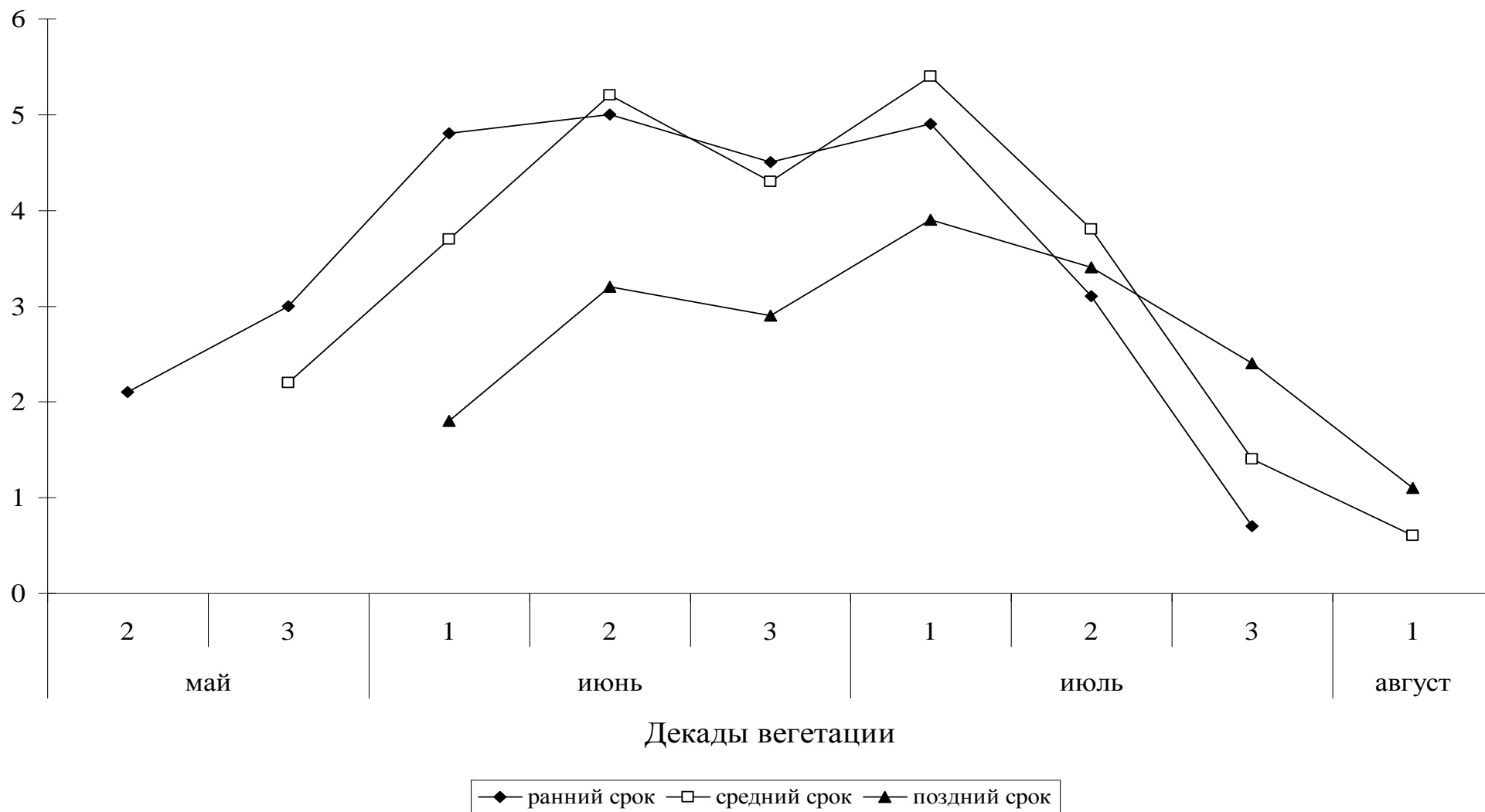


Рис. 2.11. Динамика чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) посевов сои при разных сроках сева в 2009 году

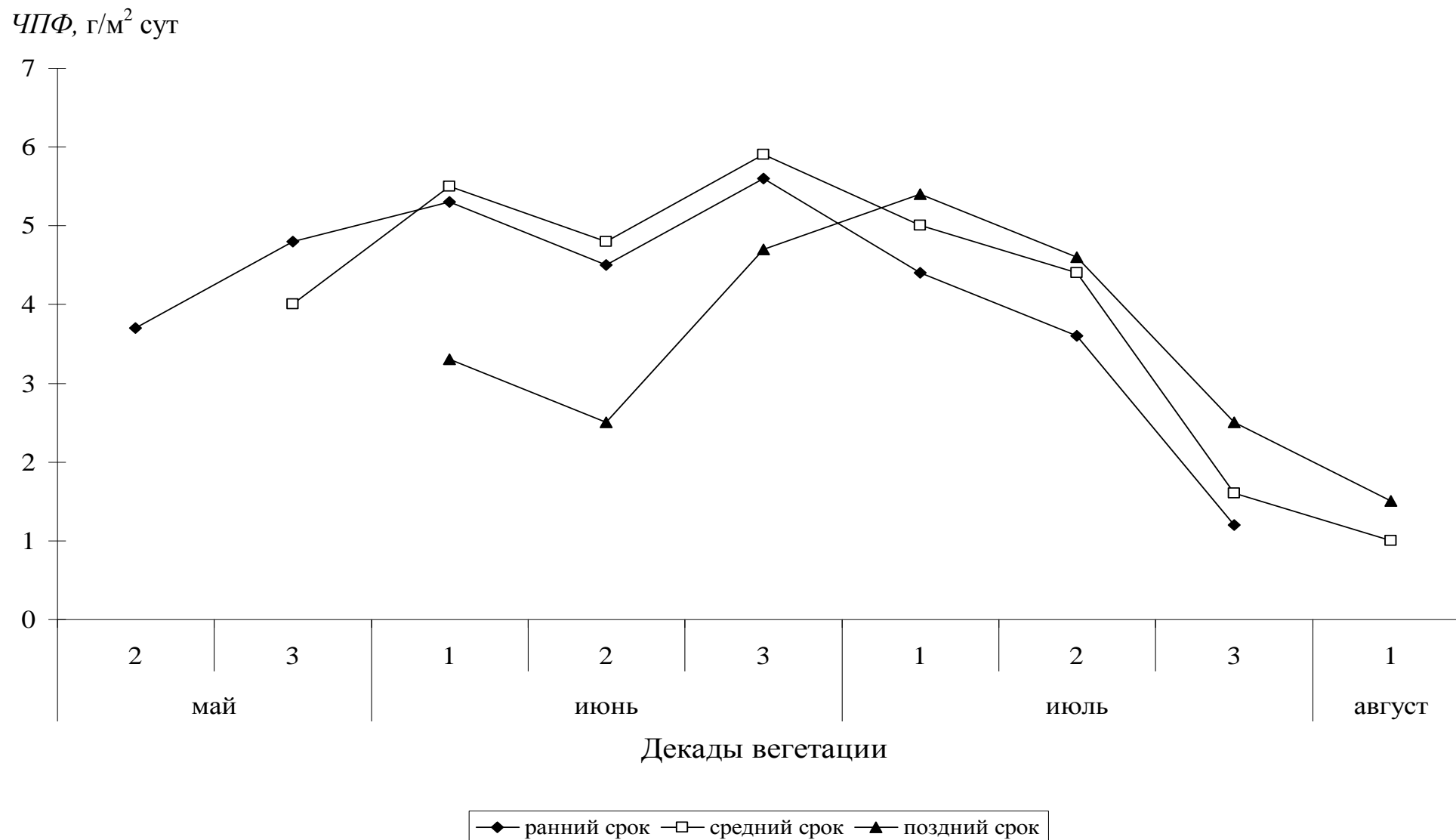


Рис. 2.12. Динамика чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) посевов сои при разных сроках сева в 2010 году

Так, в результате выполненной работы, можно дать количественную оценку влияния сроков сева на основные показатели фотосинтетической деятельности растений в посевах и урожай зерна сои. Результаты расчета представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Основные характеристики фотосинтетической деятельности растений в посевах и урожайность культуры сои при разных сроках сева

Сроки сева	Дата сева	Максимальная площадь листьев, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Максимальная чистая продуктивность фотосинтеза, $\text{г}/\text{м}^2$ сутки	Максимальный за декаду фотосинтетический потенциал, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Фотосинтетический потенциал за период вегетации, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Урожай	
						Общей сухой биомассы, $\text{г}/\text{м}^2$	семян, ц/га, при 14 % влажности
2009 год							
Ранний	11.04	3,9	5,0	36,0	179	490	7,6
Средний	27.04	4,1	5,3	38,0	188	554	8,2
Поздний	11.05	3,6	4,2	35,0	144	451	6,7
2010 год							
Ранний	15.04	4,3	5,6	40,3	205	733	14,2
Средний	25.04	4,7	5,9	45,7	250	849	16,1
Поздний	5.05	4,2	5,4	40,0	164	670	12,4

На величину фотосинтетического потенциала сроки сева оказали значительное влияние.

В 2009 году при среднем сроке сева наблюдались максимальные показатели фотосинтетической деятельности растений, так максимальная площадь листьев составила $4,1 \text{ м}^2/\text{м}^2$, максимальная чистая продуктивность фотосинтеза – $5,3 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$, максимальные значения фотосинтетического

потенциала за декаду – $38 \text{ м}^2/\text{м}^2$, фотосинтетический потенциал за период вегетации – $188 \text{ м}^2/\text{м}^2$, урожай сухой биомассы при уборке составил $554 \text{ г}/\text{м}^2$, а урожай зерна – $8,2 \text{ ц}/\text{га}$.

При позднем сроке сева наблюдались минимальные показатели фотосинтетической деятельности растений, максимальная площадь листьев составила $3,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$, максимальная чистая продуктивность фотосинтеза – $4,2 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$, максимальные значения фотосинтетического потенциала за декаду – $35 \text{ м}^2/\text{м}^2$, фотосинтетический потенциал за период вегетации – $144 \text{ м}^2/\text{м}^2$, урожай сухой биомассы при уборке составил $451 \text{ г}/\text{м}^2$, а урожай зерна был низким из-за длительной засухи в июле и составил $6,7 \text{ ц}/\text{га}$.

В 2010 году максимальные показатели фотосинтетической деятельности растений наблюдались также как и в предыдущем году при среднем сроке сева, так максимальная площадь листьев составила $4,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$, максимальная чистая продуктивность фотосинтеза – $5,9 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$, максимальные значения фотосинтетического потенциала за декаду – $45,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$, фотосинтетический потенциал за период вегетации – $250 \text{ м}^2/\text{м}^2$, урожай сухой биомассы при уборке составил $849 \text{ г}/\text{м}^2$, а урожай зерна – $16,1 \text{ ц}/\text{га}$.

При позднем сроке сева наблюдались минимальные показатели фотосинтетической деятельности растений, максимальная площадь листьев составила $4,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$, максимальная чистая продуктивность фотосинтеза – $5,4 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$, максимальные значения фотосинтетического потенциала за декаду – $40 \text{ м}^2/\text{м}^2$, фотосинтетический потенциал за период вегетации – $164 \text{ м}^2/\text{м}^2$, урожай сухой биомассы при уборке составил $670 \text{ г}/\text{м}^2$, а урожай зерна – $12,4 \text{ ц}/\text{га}$ [79].

ВЫВОДЫ К РАЗДЕЛУ 2

В разделе была дана краткая физико-географическая характеристика района проведения полевого опыта. На протяжении 2009 и 2010 гг. были проведены экспериментальные исследования по изучению влияния

агрометеорологических условий на формирование продуктивности посевов сои на наблюдательных участках учебной агрометеорологической лаборатории Одесского государственного экологического университета.

В результате полевого эксперимента исследованы метеорологические условия 2009 и 2010 гг. по межфазным периодам сои при разных сроках сева. Выявлено, что средняя температура воздуха, сумма температур, количество осадков, запасы продуктивной влаги в эти годы сравнительно отличались друг от друга. Более благоприятные условия для возделывания сои складывались в 2010 году.

Установлено, что в 2010 году, по сравнению с 2009 годом максимальная площадь листьев при раннем, среднем и позднем сроках сева была больше на 0,4-0,6 м²/м², максимальная чистая продуктивность фотосинтеза при этих же сроках сева на 0,6-1,2 г/м² сутки, максимальный фотосинтетический потенциал – 4,3-7,7 м²/м², урожай общей сухой биомассы – на 189-25 г/м² и урожай семян при стандартной влажности 14-й % составила 0,4-0,6 %, что существенно отличались друг от друга, как по температурному режиму, так и по условиям увлажнения и распределения осадков. В 2009 году соя произрастала в условиях теплой солнечной, но очень засушливой погоды. В результате этого урожай сои составил 7,6 ц/га при раннем сроке сева, 8,2 ц/га при среднем сроке сева и 6,7 ц/га при позднем сроке сева. В отличие от 2009 года, погодные условия 2010 года были более благоприятными. В результате этого урожай сои в 2010 году составил 14,2, 16,1 и 12,4 ц/га соответственно, что в среднем в два раза больше чем в предыдущем году. В целом, погодные условия 2009 года можно считать удовлетворительными, а 2010 года – благоприятными для возделывания сои.

Установлено, что для получения высокой продуктивности посевов необходимо как наиболее быстрое формирование оптимальной площади листьев, так и создание условий для их продолжительной работы.

РАЗДЕЛ 3

АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СОИ

3.1. Современное состояние моделирования формирования продуктивности сои

Влияние факторов внешней среды на продуктивность сельскохозяйственных культур является предметом многочисленных исследований. Для изучения этого воздействия применяются различные методы.

В настоящее время разработано уже довольно много длиннопериодных динамических моделей различных сельскохозяйственных культур, позволяющих оценить рост растения в течение вегетационного периода как результирующую основных физиологических процессов. Длиннопериодные динамические модели описывают продукционный процесс во всех аспектах в течение всего вегетационного периода. Шагом времени в этих моделях обычно берется суточный интервал. Их характерной чертой является расчет роста целого растения или отдельных органов, учет динамики агротектоники, распределения ассимилянтов и физиологического аппарата растений, описание динамики фенофаз и старения растений и т.д. При построении многих длиннопериодных динамических моделей используется методология, разработанная Ю.К. Россом [83, 84], Х.Г. Тоомингом [107, 108], J. Thornley [158], а также сформулированные этими авторами принципы моделирования ряда физиологических процессов.

Краткий обзор исследований влияния агрометеорологических условий произрастания сои на ее урожайность свидетельствует о том, что, во-первых, все результаты получены статистическими методами, во-вторых, для оценки требований соя к условиям произрастания авторы использовали разные

критерии, неодинаковые по объему и полноте выборки; полученные выводы отнесены к различным территориям и не всегда сопоставимы.

Указанные трудности в значительной степени можно устранить при применении другого метода исследования – математического моделирования. Это направление получило широкое распространение в агрометеорологии и других областях знаний. Модели погода - урожай предназначены в качестве составной части автоматизированной системы управления сельскохозяйственного производства, для исследований условий формирования разных уровней продуктивности культур. Отдельные методы оценок агрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур и методы прогноза, основанные на динамических математических моделях и внедрены в систему оперативного агрометеорологического обслуживания сельского хозяйства.

Существуют несколько методов оценки взаимосвязи между погодными условиями, технологиями выращивания и урожайностью сельскохозяйственных культур. Как отмечают Кауфман и Снелл (Kaufmann and Snell), различные методы оценки можно разделить на две группы. Первая группа состоит из имитационных моделей сельскохозяйственных культур, которые дают непосредственно оценку влияния погодных и почвенных условий на физиологию растений. Эти типы моделей полезны, потому что они сосредоточены на моделировании специфических воздействий общеизвестных физиологических и биологических факторов, которые влияют на рост и развитие растений на протяжении их него жизненного цикла.

Вторая группа состоит из моделей множественной регрессии, которые оценивают взаимоотношение погодных условий, технологий выращивания и урожайности культур. Одним из преимуществ моделей множественной регрессии над имитационными моделями является то, что модели множественной регрессии охватывают как погодные условия, так и технологические аспекты изменения урожайности с течением времени.

Регрессионные модели разработаны для прогнозирования урожайности, как сои, так и кукурузы для территории штатов Иллинойс, Индиана, и Айова.

Регрессионная модель, разработанная Л.М. Томпсоном [157], включает в себя среднемесячные данные о количестве осадков и наблюдений за температурой воздуха с 1930 по 1962 гг. Модифицированная модель включает в себя ежемесячные наблюдения с 1960 по 2006 года.

В.Л. Диксон и другие авторы [132] утверждали, что регрессионные модели, основанные на среднемесячных метеорологических данных потенциально менее полезны для оценки и прогнозирования урожайности, чем те модели, которые основаны на метеоданных в определенные стадии развития культуры. Тем не менее, результаты их исследований показали, что улучшение моделей системы «растение-погода» с использованием еженедельные переменных с привязкой к развитию культуры было незначительным и измерение переменных было значительно сложным и трудоемким.

Существует несколько моделей урожайности, которые моделируют физические, химические и биологические процессы, которые происходят в растениях сои (*Glycine max (L.) Merr.*) с учетом влияния климата, свойств почвы и приемов возделывания культуры – Т.Р. Sinclair and N.A. Seligman [153, 156]. Нынешнее поколение моделей урожайности сои включают в себя: модель роста сои SOYBEAN [154, 155]; модель GLYCIM [122]; модель урожайности сои SOYCROS [145] и модель CROPGRO-SOYBEAN5 [123].

Модели урожайности сои были доступны, начиная с 1980-х годов, когда была выпущена подлинная версия модели SOYGRO V4.2 [138, 160]. По существу, модель была модифицирована с оригинальной версии, и CROPGRO - SOYBEAN V3.5 – самая последняя версия [124].

Модель CROPGRO-SOYBEAN – это детерминированная и механистическая модель, которая предназначена для прогнозирования урожайности сои и обмена углерода, воды и азота. CROPGRO-SOYBEAN имитирует основные процессы растений (фенологические развитие, фотосинтез, дыхание, поглощение воды растениями, увеличение биомассы и ее

перераспределение) как функцию экологических факторов – среднесуточной температуры воздуха и почвенной влаги [121, 124].

Модель CROPGRO–SOYBEAN используется для прогнозирования урожайности на уровне регионов и хозяйств, а также для изучения альтернативных режимов управления [135], условий окружающей среды [125, 126, 129, 140, 149] и генетического потенциала урожайности [123]. Модель также используется для анализа пространственных изменений урожайности [120, 144] и разработки параметров модели для культуры сои [141].

Модель SOYBEAN [154] использует суточные метеорологические данные (солнечная радиация, минимальная и максимальная температура воздуха и осадки) для имитации индекса листовой поверхности, накопления биомассы, роста и веса семян. А также эта модель используется для изучения влияния дефицита воды и азота на производство соевого зерна [142, 154], накопление азота и его использование растениями сои, а также влияние метеорологических условий на ее урожайность [153, 155].

Модель APSIM-Soybean была разработана Робертсоном при участии Кэрберри [147]. Модуль APSIM-Soybean относится к семейству моделей урожая сельскохозяйственных растений в APSIM. Эта модель имитирует суточный рост растений сои (на площадь поля, а не на одно растение). Рост растений в этой модели зависит от климата (температуры воздуха, осадков и солнечной радиации, которые являются составляющими параметрами модуля Met), запасы влаги в почве (модуль Soilwat) и почвенный азот (модуль SoilN). Модель APSIM-Soybean возвращает суточную информацию о поглощении почвенной воды и азота (модули Soilwat и SoilN). Информация о растительном покрове также используется в модуле Soilwat для расчета скорости испарения и стока. Значения остатков ботвы и корней проходят от модуля «Растение» к модулю «Остаток» и «SoilN» соответственно при сборе урожая культуры. Модель APSIM-Soybean прогнозирует следующие показатели с суточным временным шагом: фенологические переменные (появление листьев и узлов,

стадии развития культуры), развитие листовой поверхности, содержание азота и биомассу частей растения (в том числе биомассу зерна), глубину и распределение корней в почвенном профиле, поглощение воды и азота корневой системой растений, дефицит воды, кислорода и азота, фиксацию азота из атмосферы [131].

Разработанная модель GLYCIM [136] является механистической моделью, имитирующая физические и физиологические процессы, которые включают в себя перенос веществ в почве, растении и атмосфере. Модель GLYCIM моделирует урожай на основе процессов, что происходят на уровне органов растения, таких как фотосинтез, транспирация, распределение углерода, рост и развитие органов. Концентрация CO_2 в модели имеет прямое влияние на величину брутто-фотосинтеза и величину фотореспирации.

Экзогенные переменные включают данные о климате, почве, и агротехнических мероприятиях, это такие данные, как дата сева, расстояние между рядами, планирование орошения, сроки сбора урожая и прогнозирование урожая [122]. Входящая метеорологическая информация включает в себя солнечную радиацию, максимальную и минимальную температуры воздуха, количество осадков, скорость ветра. Модель также использует данные о температурах сухого и смоченного термометра, если такие данные доступны. Программа имеет возможность использовать либо почасовую, либо посуточную входящую информацию. Также необходима информация о физических и гидравлических свойствах почвы, географическая широта местности, дата появления 1-го листа, расстояние между посевными рядами, густота стояния растений на один ряд, ориентация ряда, величина полива, способ и дата, концентрация CO_2 в атмосфере. Данные по необходимым характеристикам почвы берутся по почвенным горизонтам. Расчеты начинаются на стадии образования семядоли с соответствующими данными о числе, размерах и весе органов растений. Модель прогнозирует рост растений, как по размеру, так и фенологические стадии их него развития. Также прогнозируются концентрации азота в различных органах растений, а также

водный и азотный статус почвы. Модель дает информацию о массе сухого вещества всех частей растений и окончательного урожая семян. Модель GLYCIM используется для оценки урожайности на окружном и государственном уровнях [136].

Модель SOYCROS также имитирует рост и продуктивность сортов сои на основе физиологии культуры, агрометеорологических условий, физике почв, физиологического дефицита влаги и функционирования корневой системы [145].

В США также была разработана модель сои [129, 159], особенностью которой является применение концепции фондов для распределения ассимилятов. Рост растений моделируется отдельно в каждой вегетативной фазе (запасной пул растворимых углеводов, молодые растущие ткани и зрелые функционирующие ткани). Аккумуляция растением фиксированной энергии в сухом веществе (листьях и стеблях) рассматривается как результат процесса фотосинтетической трансформации и световой энергии в химическую энергию углеродных связей с последующим распределением в соответствии с потребностью различных частей растений. Оба эти процесса регулируются уровнем азотного пула органов и находятся под влиянием таких факторов среды, как минеральное питание, водоснабжение, температура и уровень фотосинтетической активной радиации (ФАР).

Новая модель SoySim является современной моделью сои, которая сочетает в себе существующие подходы к моделированию процессов фотосинтеза, накопления и распределения биомассы и характеризуется наличием нескольких новых компонентов: (I) имитация фазы цветения основана на процессе индукции цветков и после-индукционных процессов, (II) моделирование индекса листовой поверхности основано на логистических функциях роста и старения, (III) интегрирование процесса фотосинтеза растительного покрова с помощью бета-функции, и (IV) моделирование урожая основано на в расчете на поставку ассимиляции запасов питательных веществ и числа семян [150]. Эта модель имитирует суточный рост сои, начиная от фазы

1-й лист до полного созревания. Эта версия программы моделирует потенциал урожайности сои, потребление воды и требования орошения при неограничивающих условиях, предполагая, как оптимальное снабжение питательными веществами, так и отсутствие потерь урожая под влиянием абиотических и биотических факторов.

Разработанная модель SoySim были проверена на орошаемых научно-исследовательских и экспериментальных участках в штатах Небраска, Айова и Индиана. Результаты показали, что модель способна моделировать массу сухого вещества семян и надземной части растений с достаточной степенью точности по сравнению с другими существующими моделями. С помощью этой модели достигнуты желаемые результаты даже с гораздо меньшим количеством входных параметров конкретных сортов по сравнению с другими существующими моделями. Для моделирования потенциала урожайности необходимы суточные метеорологические данные по солнечной радиации, максимальных и минимальных температурах воздуха. Для моделирования использования водных ресурсов и рекомендаций по ирригации, модель требует суточных метеорологических данных по солнечному излучению, максимальной и минимальной температуры воздуха, осадков, испарению и относительной влажности воздуха.

Для оценки продуктивности урожая сельскохозяйственных культур, была предложена модель продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН [123]. Это эмпирическая модель, которая включает в себя следующие компоненты: почва, с ее водным балансом; растение, с процессами его развития, роста и урожайностью; атмосфера, с ее тепловым режимом, осадками и испарением. Данная модель сопоставляет относительное снижение урожайности и относительный дефицит суммарного испарения. Таким образом, необходимо сначала оценить потенциальную урожайность, что представляет собой максимальный урожай в соответствующих условиях, а затем оценить фактическую урожайность с учетом относительного водного дефицита,

который лимитируется фактором чувствительностью культуры к дефициту влаги.

Другая разработанная модель ФАО AquaCrop [143] требует относительно небольшое число исходных параметров и данных для моделирования урожая большинства основных полевых и овощных культур в зависимости от наличия/отсутствия влаги. Урожайность рассчитывается как продукт биомассы и показатель урожая (ПУ). В начальный период формирования урожая, ПУ линейно возрастает со временем после лаг-фазы, почти до физиологической зрелости. Кроме этого, для расчета урожая в модели не учитывается распределение биомассы в различные органы культуры. Ответ культуры на дефицит влаги моделируются с учетом четырех модификаторов, которые являются функциями наличия фракционной почвенной влаги, модулированной через процесс испарения, на основе дифференциальной чувствительности к водному стрессу четырех ключевых процессов растений: увеличение растительного покрова, устьичного контроля транспирации, старение растительного покрова и ПУ [143]. Один из важных применений модели - сравнение достижимых и фактических урожаев в поле, на фермах или регионе в целом, для выявления препятствий, ограничивающих производство сельскохозяйственных культур и получения необходимой влаги.

Особенности, которые отличают AquaCrop от других моделей сельскохозяйственных культур является ее ориентация на зависимость урожайности культур от наличия доступных запасов влаги, использование показателя надземного растительного покрова вместо индекса площади листа (LAI), и использование показателя эффективности использования влаги, который определяется через показатели атмосферного испарения и концентраций диоксида углерода, благодаря чему модель можно использовать для различных территорий и в различные сезоны, в том числе с учетом сценариев изменения климата. Кроме того, хотя модель является простой в использовании, она акцентирует особое внимание на фундаментальных

процессах, вовлеченных в продуктивность культуры и реакциях на водный стресс, как с физиологической, так и с агрономической точек зрения.

3.2. Принципы построения модели

В современной количественной теории продуктивности процесс формирования урожая сельскохозяйственной культуры рассматривается как сложная непрерывная цепь сопряженных, развивающихся во времени, взаимосвязанных физиологических процессов, напряженность и качественная направленность которых определяется генотипом растения и влиянием факторов среды обитания. Поэтому при моделировании необходимо стремиться к учету условий среды в течение всего вегетационного периода с помощью приспособленного для этой цели математического аппарата.

Математической моделью системы принято называть ее описание на каком-либо формальном языке, позволяющее судить о поведении этой системы при помощи формальных процедур.

Математическая модель сложных иерархически организованных динамических объектов с многообразными внутренними и внешними связями сама является сложной многоуровневой системой непрерывно меняющихся образов, выраженных в математической символике. Опыт построения таких моделей указывает на необходимость использования всего многообразия путей научного познания и различия подходов к описанию этой системы и ее отдельных частей (интуиции и гипотезы) – от эмпирического подхода и индуктивных построений до дедуктивной математической теории.

В состав модели продукционного процесса включены описания, основанные на дедукции, (не требующие проверки). Однако в целом эта модель имеет все черты индуктивной теории, требующие исследований ее достоверности. Конструирование такой модели должно рассматриваться как процесс ее развития, приближения степени достоверности модели к тому уровню, который диктуется практическими соображениями [31].

Разработка моделей, описывающих комплекс процессов в агроценозе, является одной из сложнейших задач современной науки. Объясняется это необходимостью учета и количественного описания важнейших биологических, физических, биохимических и других процессов в жизни растений; недостаточной изученностью вопросов взаимодействия и влияния таких процессов в системе растение – среда; отсутствием совершенной экспериментальной базы для определения параметров моделей и их проверки; сложностью реализации моделей на современных ЭВМ. Как отмечает Х.Г. Тооминг [108], роль математических моделей в изучении функционирования фитоценоза в системе почва - атмосфера интегрирующая. Математическая модель содержит в сжатом и удобном для количественного применения виде имеющуюся информацию о продукционном процессе, отражая хорошо или слабо разработанные вопросы, и может явиться как инструментом исследования, так и основой для решения широкого круга прикладных задач.

Уровень сложности модели определяется конечной целью разработки, в частности, прикладной значимостью модели. При разработке прикладных моделей целесообразно использовать уже готовые, апробированные блоки из других моделей [15].

Многочисленные работы с большими имитационными моделями типа почва – растение – атмосфера, предназначенные для исследовательских работ, и опыт создания первого варианта упрощенной динамической модели типа погода – урожай, предназначен для использования в практике агрометеорологического обслуживания сельского хозяйства [1, 2, 14, 16, 26], позволили взяться за разработку варианта прикладной модели формирования продуктивности сои, т.е. длиннопериодной по классификации З.Н. Бихеле, Х.А. Молдау, Ю.К. Росс [13] динамической модели, описывающей продукционный процесс во всех аспектах с разной степенью детализации в течение всего вегетационного периода. Как предполагают авторы [15], подобные модели в ближайшие 10-15 лет будут иметь наибольшую

практическую значимость. А.Н. Полевой [72] четко сформулировал ряд требований к длиннопериодным динамическим моделям, предназначенным для использования в агрометеорологических прогнозах и расчетах. Эти требования заключаются в следующем.

Структуру модели необходимо разрабатывать с учетом того, чтобы она обеспечивала достаточно точное описание основных процессов жизнедеятельности растений на уровне экосистем (поля), элементов (индивидуальные растения) и компонентов (органы растений). Дальнейшее углубление уровня до клетки и биохимических структур в прикладных моделях не обязательно.

Однако структура модели должна предусматривать использование тех параметров, для оценки которых можно получить достаточно экспериментальных данных. Кроме того, в модели должны быть заложены возможности для адаптации ее при использовании в прогностических целях, т.е. необходима оценка географической изменчивости параметров модели.

При разработке модели формирования продуктивности сои в качестве базового варианта использована модель А. Н. Полевого [75]. Эта модель была модифицирована и адаптирована относительно к культуре сои.

Блок-схема модели формирования продуктивности сои включает блоки основных физиологических процессов жизнедеятельности растения (*Glycine max* (L) Merrill): фотосинтеза, дыхания, роста, развития, а также гидрометеорологический блок. И хотя продуктивность посева определяется всем комплексом связей в системе почва – растение - атмосфера, при разработке модели использованы те метеорологические и агрометеорологические данные о температуре и влажности воздуха, осадках, солнечной радиации, водно-физических свойствах и влажности почвы, которые можно получить с помощью стандартных метеорологических и агрометеорологических наблюдений. При этом учитывался характер действия факторов внешней среды на агроценоз, который, как правило, не аддитивен (влияние факторов не суммируется), а либо антагонистичен (взаимокомпенсация, например, отрицательного

влияния высокой температуры и смягчающего влияния – орошения), либо синергичен (взаимоусиление действия разных факторов). Характер действия факторов может быть монодоминантным (по терминологии, т.е. один из факторов приобретает экстремальное (максимальное или минимальное) значение, нивелируя влияние других факторов (заморозок, резкое повышение температуры и т.д.). Принимая во внимание масштаб изменений факторов внешней среды, предпочтение отдается учету суточных значений агро- и метеовеличин, которые рассчитывались в гидрометеорологическом, или подготовительном, блоке модели.

Основные этапы построения модели: 1) разработка структуры; 2) идентификация параметров и структуры; 3) исследование модели.

Одним из основных условий высокой культуры земледелия является наиболее полное использование климатических ресурсов. В этом аспекте изучение климатической обеспеченности формирования урожая сельскохозяйственных культур с учетом особенностей микроклимата территорий имеет важное научное и практическое значение. При учете влияния климата на эффективность сельскохозяйственного производства главным является определение агроклиматических ресурсов территории, реализуемое путем их агроклиматического районирования.

3.3. Концепция моделирования

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур неразрывно связано с проблемой оценки агроклиматических ресурсов территории и рациональным размещением посевов. Только максимальное совпадение биологических требований сельскохозяйственных культур и агроклиматических условий может привести к получению высоких и устойчивых урожаев.

Изменение условий климата неизбежно влечет за собой изменение продуктивности сельскохозяйственных культур и необходимость новой оценки

возможности их размещения, возделывания и рационального использования изменившихся агроклиматических ресурсов.

В предлагаемом нами варианте агроклиматической модели продуктивности сельскохозяйственных культур использована базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур основана на концепции максимальной продуктивности растений Х.Г. Тооминга [108], результатах моделирования формирования урожая А.Н. Полевого [25, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 96].

Базовая модель была модифицирована и адаптирована применительно к культуре сои.

Модель оценки агроклиматических ресурсов сои имеет блочную структуру и содержит следующие блоки.

- блок входной информации;
- блок показателей солнечной радиации;
- блок водного режима;
- блок орошения;
- блок плодородия почвы и обеспеченности растений минеральным питанием;
- блок агроэкологических категорий урожайности;
- блок созревания (учитывая биологические особенности культуры сои, созревание которой проходит в три этапа, нами рассматривались три фазы созревания семян сои);
- блок обобщающих оценочных характеристик.

Рассмотрим более подробно эти блоки.

Блок-схема модели представлена на рисунке 3.1.

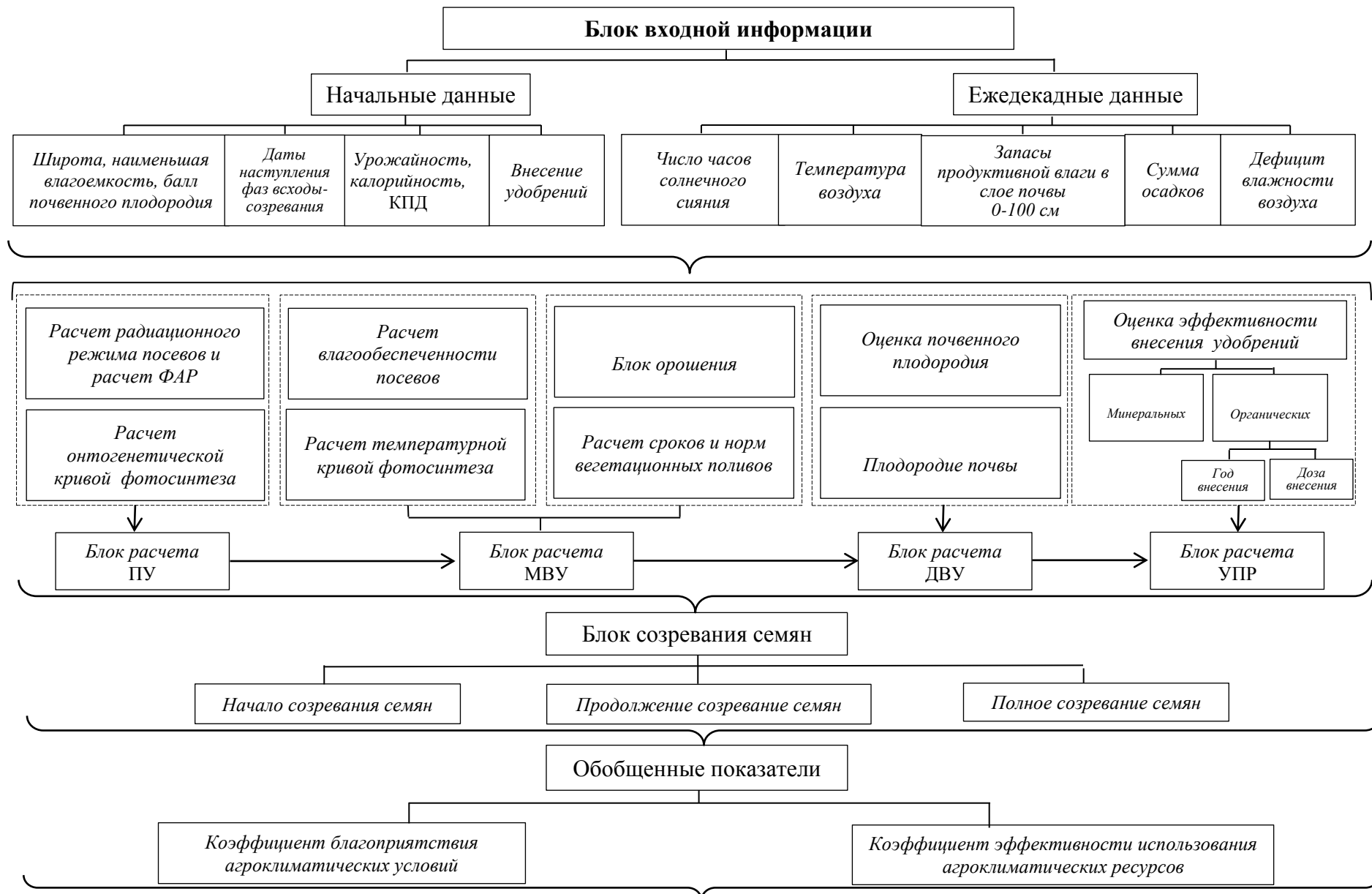


Рис. 3.1. Блок-схема агроклиматической модели формирования урожая сои

3.4. Блок входной информации

Этот блок содержит данные стандартных метеорологических и агрометеорологических наблюдений. Для выполнения расчетов по модели задается информация двух видов:

- информация, характеризующая начальные данные о пункте, по которому выполняется расчет;
- ежелектная агрометеорологическая информация.

Начальные данные включают в себя сведения о широте пункта, для которого выполняются расчеты, характеристике наименьшей влагоемкости метрового слоя почвы, запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы на дату всходов и содержания гумуса в почве.

Вводятся также сведения о дате появления всходов сои и дате наступления фазы созревания. Помимо этого, вводится информация о максимальной урожайности культуры и об уровне существующей культуры земледелия.

Приводятся сведения о внесении минеральных удобрений: азотных, фосфорных и калийных удобрений, сведения об их оптимальных дозах внесения под культуру, а также о внесении органических удобрений и их оптимальной норме для культуры сои

Текущая информация включает в себя данные о запасах продуктивной влаги в слое 0 - 100 см, среднедекадной температуре воздуха, среднем за декаду числе солнечного сияния, сумме осадков за декаду, средним за декаду дефиците влажности воздуха.

3.5. Блок показателей солнечной радиации

Для расчета интенсивности суммарной солнечной радиации используется формула С.И. Сивкова [92]:

$$Q_o^j = 12,66 \cdot (SS^j)^{1,31} + 315 \cdot (A^j + B^j)^{2,1}, \quad (3.1)$$

где Q_o – суммарная солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность, кал/см²·сутки;

SS – среднее за декаду количество часов солнечного сияния;

j – номер расчетной декады;

A и B – промежуточные характеристики, которые рассчитываются по широте местности и склонению Солнца.

3.6. Блок водного режима и орошения

Для расчета испаряемости E_o используется способ А.М. Алпатьева [7]:

$$E_o^j = 0,65 \cdot DWW^j \cdot dv^j \cdot 0,75, \quad (3.2)$$

где DWW – средний за декаду дефицит влажности воздуха, гПА;

dv – число дней в расчетной декаде.

Суммарное испарение определяется по формуле С.И. Харченко [113]:

$$E^j = \frac{2W^j + O_s^j + P_{нор}^j}{1 + \frac{2W_{HB}}{E_o^j}}, \quad (3.3)$$

где E – суммарное испарение, мм;

$P_{нор}$ – норма вегетационных поливов;

W_{HB} – наименьшая влагоемкость в слое почвы 0-100 см, мм;

O_s – сумма осадков за декаду, мм;

W – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см, мм.

С помощью следующего соотношения рассчитываем инфильтрацию в нижние слои почвы

$$F_{inf}^j = W^j + O_s^j + P_{нор}^j - E^j - W_{HB}, \quad (3.4)$$

где F_{inf}^j – инфильтрация в нижние слои почвы за декаду, мм.

Для расчета запасов продуктивной влаги применяется уравнение водного баланса

$$W^{j+1} = W^j + O_s^j + P_{ноп}^j - E^j - F_{inf}^j. \quad (3.5)$$

3.7. Блок функций влияния фазы развития и метеорологических факторов на продукционный процесс растений

В основе продукционного процесса растений лежит фотосинтез. Его интенсивность обуславливается фазой развития растений и условиями окружающей среды. Для расчета онтогенетической кривой фотосинтеза воспользуемся формулой вида:

$$\alpha_\phi^j = \exp \left[-a_\phi \left(\frac{TS_2 - \sum t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (3.6)$$

в которой величину α_ϕ определяем по выражению

$$a_\phi = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_\phi^0}{(\sum t_1)^2}, \quad (3.7)$$

где α_ϕ – онтогенетическая кривая фотосинтеза, отн. ед.;

α_ϕ^0 – начало онтогенетической кривой фотосинтеза, отн. ед.;

$\sum t_1$ – сумма эффективных температур воздуха от всходов, при которой наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза растений, °С;

TS_2 – сумма эффективных температур, °С.

Функция влияния температуры воздуха на продукционный процесс с определяется с помощью выражения

$$\psi_{\phi} = \begin{cases} 13,7 \cdot \sin(0,077 \cdot x_1^j), & \text{при } (T^j - T_{\phi}) < T_{opt1}^j, \\ 1, & \text{при } T_{opt1} \leq (T^j - T_{\phi}) \leq T_{opt2}^j, \\ 1,13 \cdot \cos(1,570 \cdot x_2^j), & \text{при } (T^j - T_{\phi}) > T_{opt2}^j, \end{cases} \quad (3.8)$$

где ψ_{ϕ} – температурная кривая фотосинтеза, отн.ед.;

T – среднедекадная температура воздуха, °С;

T_{ϕ} – среднедекадная температура воздуха, при которой начинается фотосинтез, °С;

T_{opt1} – нижняя граница температурного оптимума для фотосинтеза, °С;

T_{opt2} – верхняя граница температурного оптимума для фотосинтеза, °С.

В уравнении (3.8) промежуточные величины определяются по формулам:

$$x_1^j = (T_s^j - T_{\phi}) / (T_{opt1}^j - T_{\phi}), \quad (3.9)$$

$$x_2^j = (T_s^j - T_{opt2}^j) / (T_{max} - T_{opt2}^j), \quad (3.10)$$

где T_{max} – среднедекадная температура воздуха, при которой прекращается фотосинтез, °С;

T_s – температура воздуха на горизонтальной поверхности, °С.

Значения нижней и верхней границ температурного оптимума для фотосинтеза находятся как функции времени.

Функцию влияния влажности почвы на фотосинтез γ_{ϕ} определяется по формуле:

$$\gamma_{\phi} = \begin{cases} -1,163 \cdot (x_3^j)^2 + 2,187 \cdot x_3^j, & \text{при } W^j < W_{opt4}^j, \\ 1, & \text{при } W_{opt4}^j \leq W^j \leq W_{opt2}^j, \\ -0,654 + 3,824 \cdot x_4^j - 2,633 \cdot (x_4^j)^2 + 0,467 \cdot (x_4^j)^3, & \\ \text{при } W^j > W_{opt2}^j, \end{cases} \quad (3.11)$$

где W – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм;

W_{opt1} – нижняя граница оптимальных запасов влаги, мм;

W_{opt2} – верхняя граница оптимальных запасов влаги, мм.

$$x_3^j = W^j / W_{opt1}^j, \quad (3.12)$$

$$x_4^j = W^j / W_{opt2}^j, \quad (3.13)$$

Функция влияния влагообеспеченности посевов нами рассматривалась как сочетание двух функций. Учитывалась функция влияния влажности почвы на продуктивность растений (по данным о фактических запасах влаги) и отношение суммарного испарения посевов к испаряемости:

$$FW = \left(\gamma_\phi^j \cdot \frac{E^j}{E_0^j} \right), \quad (3.14)$$

где FW – относительная влагообеспеченность посевов, отн. ед.

Аналогично определим обобщенную функцию влияния термического режима и влагообеспеченности FTW_1 на фотосинтез:

$$FTW_1 = (\psi_\phi \cdot FW). \quad (3.15)$$

К этой функции вводится коррекция на уровень температуры в сочетании с влагообеспеченностью:

$$FTW_2 = \begin{cases} FTW_1[1 + (1 - \psi_\phi)(1 - FW)], \text{ при } t_n < t_{opt1} \\ FTW_1, \text{ при } t_{opt1} \leq t_n \leq t_{opt2} \\ FTW_1[1 - (1 - \psi_\phi)(1 - FW)], \text{ при } t_n > t_{opt2} \end{cases}, \quad (3.16)$$

3.8. Блок плодородия почвы и обеспеченности растений минеральным питанием

Плодородие почвы характеризуется содержанием в ней гумуса, которое зависит от степени влияния эрозии почвы.

$$G_{um} = k_{er}^G \cdot G_{um}, \quad (3.17)$$

$$F_{G_{um}} = \frac{G_{um}}{G_{um_{opt}}}, \quad (3.18)$$

где G_{um} – содержание гумуса в почве, %;

k_{er}^G – функция влияния эрозии почвы на наличие гумуса, отн. ед;

$G_{um_{opt}}$ – оптимальное для произрастания сельскохозяйственных культур содержание гумуса в почве, %.

Функцию влияния содержания гумуса в почве определим по формуле А.С. Образцова для расчета обеспеченности элементами минерального питания

$$FW_{G_{um}} = (F_{G_{um}})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{G_{um}})], \quad (3.19)$$

где $FW_{G_{um}}$ – функция влияния содержания гумуса в почве на формирование урожая, отн. ед.

Значение функций оптимальности азотного, фосфорного и калийного питания рассчитаем по методу А.С. Образцова с некоторыми модификациями

$$F_N = \frac{N_m}{N_{opt}}, \quad (3.20)$$

$$FW_N^j = \left\{ (F_N)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_N)] \right\} \cdot k_{ef}^j, \quad (3.21)$$

где N_m – вносимая доза азотных удобрений, кг/га;

N_{opt} – оптимальная доза азотных удобрений, необходимая для получения максимального урожая, кг/га;

FW_N – функции влияния обеспеченности азотом, отн. ед.

Аналогичным образом определяются функции влияния обеспеченности фосфором FW_P и калием FW_K .

Влияние режима увлажнения почвы на эффективность удобрений, рассчитывается по выражению:

$$k_{ef}^j = \begin{cases} 1, & \text{при } \frac{W^j}{W_{opt}^j} \geq 0,85, \\ 0,8, & \text{при } 0,70 < \frac{W^j}{W_{opt}^j} < 0,85, \\ 0,6, & \text{при } \frac{W^j}{W_{opt}^j} \leq 0,70, \end{cases} \quad (3.22)$$

где k_{ef} – коэффициент эффективности удобрений в зависимости от влажности почвы, отн. ед.

Аналогично определим соотношения дозы органических удобрений к их оптимальной величине и рассчитаем функцию влияния внесения органических удобрений с учетом года внесения удобрений:

$$F_{Org} = \frac{O_{rg}}{O_{rgopt}}, \quad (3.23)$$

$$FW_{Org}^j = \left\{ (F_{Org})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Org})] \right\} \cdot k_{Org}^g \cdot k_{ef}^j, \quad (3.24)$$

где FW_{Org} – функция влияния внесения органических удобрений на урожай, отн. ед.;

O_{rg} – внесенная доза органических удобрений, т/га;

O_{rgopt} – оптимальная для культуры доза внесения органических удобрений, т/га;

k_{Org}^g – коэффициент влияния года внесения органических удобрений, отн. ед.

Обобщенную функцию влияния плодородия почвы и внесения минеральных и органических удобрений рассчитаем по принципу Либиха

$$FWM_{ef}^j = \min \{ FW_{Org}^j, FW_N^j, FW_P^j, FW_K^j \}, \quad (3.25)$$

где FWM_{ef} – функция влияния эффективного плодородия на урожай, отн. ед.

3.9. Блок агроэкологических категорий урожайности

Определим величины различных агроэкологических категорий урожайности, с учетом внесенных нами модификаций, с привлечением более полной информации и наполнения этих категорий новым содержанием.

Приращение потенциальной урожайности за декаду определялось в зависимости от интенсивности ФАР и биологических особенностей культуры с учетом изменения способностей растений к фотосинтезу в течение вегетации:

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_\phi^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot dv^j}{q}, \quad (3.26)$$

где $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$ – прирост потенциальной урожайности общей биомассы за декаду, г/м²;

α_ϕ – онтогенетическая кривая фотосинтеза, отн. ед;

η – КПД посевов, отн. ед.;

$Q_{\text{фар}}$ – среднедекадная за сутки сумма ФАР, кал/см²·сутки;

q – калорийность, кал/г.;

dv – число дней в расчетной декаде, сут.

Прирост метеорологически-возможной урожайности представляет собой прирост потенциальной урожайности, который будет ограничен влиянием влажно-температурного режима:

$$\frac{\Delta МВУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} \cdot FTW, \quad (3.27)$$

где $\frac{\Delta МВУ}{\Delta t}$ – прирост метеорологически-возможной урожайности общей биомассы за декаду, г/м²;

FTW – обобщенная функция влияния влаго-температурного режима с коррекцией на сочетание различных экстремальных условий, отн.ед.

Формирование действительно-возможной урожайности ограничивается уровнем естественного плодородия почвы:

$$(3.27) \quad \frac{\Delta DBU^j}{\Delta t} = \frac{\Delta MBU^j}{\Delta t} \cdot B_{пл},$$

где $\frac{\Delta DBU}{\Delta t}$ – прирост действительно-возможной урожайности общей биомассы за декаду, г/м²;

$B_{пл}$ – балл почвенного бонитета, отн. ед.

Получение уровня хозяйственной урожайности ограничивается реально существующим уровнем культуры земледелия и эффективностью внесенных минеральных и органических удобрений:

$$(3.29) \quad \frac{\Delta УПР^j}{\Delta t} = \frac{\Delta DBU^j}{\Delta t} \cdot k_{земл} FWM_{ef}^j,$$

где $\frac{\Delta УПР}{\Delta t}$ – прирост урожайности общей биомассы в производстве, г/м²;

$k_{земл}$ – коэффициент, который характеризует уровень культуры земледелия и хозяйственной деятельности, отн. ед.;

FWM_{ef} – функция эффективности внесения органических и минеральных удобрений, в зависимости от условий влагообеспеченности декад вегетации, отн. ед.

С учетом показателя продуктивности посевов сельскохозяйственных культур вычисляются различные агроэкологические категории урожая зерна при его стандартной влажности:

$$(3.30) \quad ПУ_{зерна}^j = ПУ \cdot K_{хоз}^{ПУ} \cdot 1,14 \cdot 0,1,$$

где $ПУ_{зерна}$ – потенциальный урожай зерна, ц/га;

$K_{хоз.}^{ПУ}$ – доля зерна в общей массе потенциального урожая, отн. ед., которая

определяется в зависимости от размеров урожая общей биомассы.

Аналогично определим соответственно метеорологически-возможный $МВУ_{зерна}$, действительно-возможный $ДВУ_{зерна}$ и урожай в производстве $УПП_{зерна}$.

3.10. Блок созревания

Исходя из биологических особенностей культуры сои нами весь период созревания поделен на три фазы: первая фаза – начало созревание семян, вторая фаза – продолжение созревание (техническая спелость), третья фаза – полная спелость. Так в первую фазу созревания зерна, листья на растении сои вянут, желтеют и опадают, тогда как стебель и бобы еще зеленые. Семена в это время имеет зеленоватый цвет.

При технической спелости растения приобретают зеленовато-желтый цвет и листья у них почти совсем опадают, а бобы становятся зеленовато-бурые. Семена в большей части бобов начинают желтеть. Другая часть семян, как и некоторая часть бобов, имеет еще зеленый цвет и содержат много влаги.

В фазу полной спелости растения засыхают. Бобы начинают растрескиваться. Семена приобретает характерный цвет в зависимости от гибрида или сорта, они легко высыпаются из растресканных бобов [53, 61, 69]

3.11. Блок обобщенных оценочных характеристик

Анализ разнообразных агроэкологических категорий урожайности ($ПУ$, $МВУ$, $ДВУ$, $УПП$), а также их соотношений и отличий позволяет судить о природных и антропогенных ресурсах сельского хозяйства, а также об эффективности хозяйственного использования этих ресурсов.

Рассмотрим две обобщенные характеристики:

1. Степень благоприятствия метеорологических условий возделывания культуры характеризует соотношение метеорологически-возможной урожайности к потенциальной урожайности

$$K_m = MBU_{зерна} / ПУ_{зерна}, \quad (3.31)$$

где K_m – коэффициент благоприятствия метеорологических условий, отн. ед.

2. Соотношение урожайности в производстве и метеорологически-возможной урожайности устанавливает эффективность использования агроклиматических ресурсов. Если это соотношение рассчитано по средним многолетним данным, то оно отражает эффективность использования агроклиматических ресурсов

$$K_{акл} = УПР_{зерна} / MBU_{зерна}, \quad (3.32)$$

где $K_{акл}$ – коэффициент эффективности использования агроклиматических ресурсов, отн. ед.

Повышение уровня $УПР_{зерна}$ и доведение его к $ДВУ_{зерна}$ требует тщательного соблюдения всех способов агротехники, выполнения их в полном соответствии с агрометеорологическими условиями на конкретном поле. Это является первоочередной задачей программирования урожаев, направленной на устранение лимитирующего действия разнообразных хозяйственных факторов. Приближение $ДВУ_{зерна}$ к $МВУ_{зерна}$ требует выполнения работ по повышению плодородия почвы. Разница между $МВУ_{зерна}$ и $ПУ_{зерна}$ компенсируется за счет мелиоративных мероприятий, а также вследствие правильного подбора сортов и культур, которые лучше приспособлены к особенностям конкретного климата. Повышение уровня $ПУ_{зерна}$ обеспечивается главным образом путем селекции новых сортов, которые будут иметь более высокий уровень урожайности за счет эффективного использования солнечной радиации.

Формулы (3.1-3.32) позволяют определить различные агроэкологические категории урожайности разных сельскохозяйственных культур в различных

местоположениях, формирующиеся под влиянием почвенно-климатических условий, и выполнить для этих территорий оценку агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур [75].

3.12. Идентификация параметров модели и проверка ее адекватности

На основании выполненных экспериментальных исследований, материалов массовых наблюдений сети гидрометеорологических станций и данных сортоучастков по росту, развитию и формированием урожая сои нами выполнена идентификация параметров модели применительно к культуре сои.

В их число входит определение онтогенетической кривой фотосинтеза по формуле 3.6, в которой параметр Σt_l характеризует период, когда наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза культуры. По материалам наших экспериментальных наблюдений, мы установили в какую фазу и при какой сумме температур наблюдается обусловленное биологией культуры максимальная интенсивность фотосинтеза сои.

При расчете функции влияния температуры воздуха на продукционный процесс растений (формула 3.8) используются два параметра, которые характеризуют нижнюю (T_{opt1}) та верхнюю границу (T_{opt2}) температурного оптимума для фотосинтеза.

Для установления верхней и нижней температурной кривой границы фотосинтеза мы провели следующие анализы. Нами рассматривались почвенно-климатические зоны: Полесье, Лесостепь, Степь с максимальными урожаями сои. Были построены графики хода температуры в течении вегетационных периодов этих лет, когда были получены максимальные урожаи. Мы исходили из предположения, что в эти годы температура воздуха в течение вегетации сои большей частью, была близка к оптимальной. На графиках хода температуры в годы с максимальной урожайностью мы ограничили поле точек нижней и верхней и приняли эти кривые соответственно за нижнюю и верхнюю границу оптимальной температурой воздуха на фотосинтез.

Функция влияние температуры воздуха на фотосинтез ψ изменяется от 0 до 1. Полученные уравнения аппроксимируют зависимость оптимальной температуры от суммы температур выше 10 °С, которые накапливаются с момента восходов. Значение нижней и верхней границ температурного оптимума для фотосинтеза найдем для всех четырех почвенно-климатических зон по формулам:

для Полесья

$$\begin{cases} t_{opt1}^j = 10,442 + 36,699 \cdot x_{t1}^j - 50,154 \cdot 4 \cdot (x_{t1}^j)^2 + 19,094 \cdot (x_{t1}^j)^3, \\ t_{opt2}^j = 13,781 + 29,993 \cdot x_{t1}^j - 37,147 \cdot 4 \cdot (x_{t1}^j)^2 + 12,733 \cdot (x_{t1}^j), \end{cases} \quad (3.33)$$

для Лесостепи

$$\begin{cases} t_{opt1}^j = 11,826 + 17,31 \cdot x_{t1}^j - 12,167 \cdot 4 \cdot (x_{t1}^j)^2 + 0,943 \cdot (x_{t1}^j)^3, \\ t_{opt2}^j = 14,008 + 20,403 \cdot x_{t1}^j - 21,026 \cdot 4 \cdot (x_{t1}^j)^2 + 5,036 \cdot (x_{t1}^j), \end{cases} \quad (3.34)$$

для Северной и Южной Степи

$$\begin{cases} t_{opt1}^j = 10,959 + 31,854 \cdot x_{t1}^j - 35,948 \cdot 4 \cdot (x_{t1}^j)^2 + 11,549 \cdot (x_{t1}^j)^3, \\ t_{opt2}^j = 14,574 + 20,01 \cdot x_{t1}^j - 19,041 \cdot 4 \cdot (x_{t1}^j)^2 + 2,094 \cdot (x_{t1}^j). \end{cases} \quad (3.35)$$

$$x_{t1}^j = \sum t^j / \sum t_{всх.-созр.}, \quad (3.36)$$

где $\sum t^j$ - сумма температур нарастающим итогом, °С.

Для оценки влияния влажности почвы на фотосинтез применяется формула 3.11, в которой используются показатели нижней (W_{opt1}) (112-165 мм) и верхней (W_{opt2}) (150-196мм) границы оптимальных значений влажности почвы. Согласно биологическим особенностям культуры сои, как нижняя граница оптимальной влажности принимается величина, равная 60 % от НВ, а верхней границы принимается величина НВ. Эти величины определены по

данным агрогидрологических обследований гидрометеорологических станций Украины.

Оптимальным значением содержания гумуса в почве была принята величина 5 %, которая используется в расчетах влияния плодородия почвы на формирование урожая по формуле 3.18.

В предложенной нами модели учитывается внесения минеральных и органических удобрений (по формулам 3.21-3.24). В этих формулах учитываются оптимальные дозы внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений, а также оптимальная норма внесения органических удобрений. Как оптимальные дозы минеральных удобрений приняты рекомендуемые значения, которые составляют: для азотных удобрений – 30-50 кг/га; для фосфорных – 50-60 кг/га; для калийных – 30-40 кг/га.

При расчете прироста потенциальной урожайности общей биомассы по формуле (3.26) используются величины: КПД посева (η) и калорийность. По результатам экспериментальных данных они принимались соответственно равными 2,6 % и 3 кал/кг.

Для расчета уровня хозяйственной урожайности по формуле (3.29) используется величина коэффициента, характеризующего уровень культуры земледелия и хозяйственной деятельности. Этот коэффициент был найден как отношение уровня хозяйственной урожайности к урожайности, полученной в условиях высокой культуры земледелия научно-исследовательских учреждений и сортоиспытательных участков. В среднем он принимается равным 0,65.

Расчет урожайности зерна сои ведется с учетом особенностей созревания, которое проходит в этой культуре в три этапа. В связи с этим в уравнении 3.30 введена величина коэффициента $k_{дозр}^i$, характеризующий долю созревания зерна в бобе в каждую из трех фаз созревания. На основании экспериментальных данных величина этого коэффициента по трем фазам оценивается соответственно 0,45; 0,40; 0,15.

Проверка адекватности модели велась путем сопоставления рассчитанной величины хозяйственной урожайности с урожайностью, полученной на уровне

хозяйств. При этом рассматривалась внесение половиной дозы минеральных и органических удобрений.

Были выполнены расчеты за два года, средняя ошибка расчета урожая зерна составляет 17 %, что можно считать допустимым для использования модели в прикладных расчетах.

ВЫВОДЫ К РАЗДЕЛУ 3

Рассмотрено современное состояние моделирования агрометеорологических условий формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. В том числе принципы построения модели и концепция моделирования. Исследована блочная структура таких моделей.

Адаптирована к культуре сое модель продуктивности путем введения двух новых блоков и идентификации параметров модели при орошении и отдельно при процессе созревания культуры.

Проверка модели была выполнена при внесении разных доз удобрений: азотных, фосфорных, калийных.

На основе эксперимента уточнены параметры модели, которые характеризуют уровень культуры земледелия и коэффициент хозяйственной деятельности, которая выполнялась для трех фаз созревания семян. Средняя ошибка расчета урожая зерна составляет 17 %, что является вполне удовлетворительной для выполнения прикладных расчетов.

РАЗДЕЛ 4

АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СОИ В УКРАИНЕ

Степень соответствия климатических условий биологическим особенностям сельскохозяйственных культур и агротехнике их возделывания определяет продуктивность этих культур. Наиболее высокая урожайность достигается при условиях максимально полного использования растением климатических ресурсов. Увеличение продуктивности также может быть достигнуто за счет изменения архитектуры изучаемой культуры в посевах с целью повышения соответствия климатических условий их биологическим требованиям.

Нами ставилась задача оценить агроклиматические условия формирования урожая сои по агроклиматическим зонам Украины.

В качестве ключевых в каждой из четырех агроклиматических зон Украины [3, 4, 45, 82] выбрано по одной из административных областей, типичной для агроклиматической зоны.

Исследования проведены по отдельным ключевым областям агроклиматических зон Украины:

- I агроклиматическая зона (Полесье) – Житомирская область;
- II агроклиматическая зона (Лесостепь) – Винницкая область;
- III агроклиматическая зона (Северная Степь) – Кировоградская область;
- IV агроклиматическая зона (Южная Степь) – Николаевская область.

На основе базовой модели оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур А.Н. Полевого [75], в основу которой положен принцип максимальной продуктивности растений Х.Г. Тооминга [108], нами выполнена адаптация этой модели применительно к культуре сои. С использованием адаптированной модели выполнены оценки агроэкологических уровней урожайности в условиях

Полесья, Лесостепи, Северной и Южной Степи. В качестве исходной информации использовались среднеобластные данные наблюдений на сети гидрометеорологических станций Управления гидрометеорологии Государственной службы по чрезвычайным ситуациям Украины.

4.1. Влияние агроклиматических условий на динамику приростов агроэкологических категорий урожайности в Полесье

При оптимальной обеспеченности растений влагой, теплом и минеральным почвенным питанием максимальный прирост фитомассы посевов сои определяется приходом ΦAP за период и коэффициентом ее использования.

Рассмотрим динамику приростов потенциальной урожайности ($\Delta ПУ$) сои и ход декадных сумм фотосинтетически активной радиации (ΦAP) за вегетационный период в Полесье (рис. 4.1).

В начале вегетации сумма ΦAP составляет $5,41 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. В следующей декаде вегетации эта сумма увеличивается до $10,48 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$.

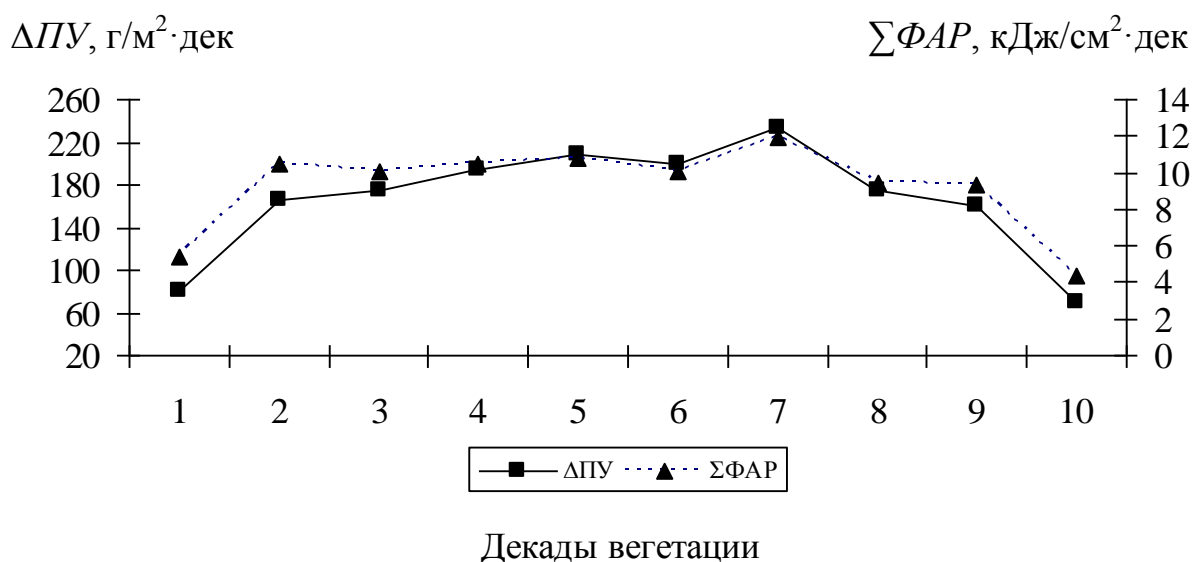


Рис. 4.1. Динамика декадных сумм ΦAP ($\Sigma \Phi AP$) и приростов потенциального урожая ($\Delta ПУ$) сои в Полесье

После этого наблюдается плавное снижение сумм ΦAP до $10,1 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$.

Таблица 4.1

Агроклиматические условия формирования агроэкологических категорий урожайности сои в Полесье

Декады вегетации	Сумма ΦAP за декаду, $\text{кДж}/\text{см}^2 \cdot \text{дек}$	Оптимальные температуры воздуха для фотосинтеза, $^{\circ}\text{C}$		Средняя температура воздуха за декаду, $^{\circ}\text{C}$	Суммарное испарение, мм	Испаряемость, мм	Влагообеспеченность, отн.ед.	Запасы влаги в слое 0-100 см, мм	Приросты агроэкологических категорий урожайности, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{дек}$			
		нижняя граница	верхняя граница						ΔPU	ΔMBV	ΔDBV	ΔUIP
1	5,41	12,4	14,7	14,7	13,4	14,6	0,92	196	80,7	78,1	48,0	16,4
2	10,48	13,7	16,1	16,1	30,5	34,1	0,90	190	166,2	160,2	99,2	33,9
3	10,10	15,0	17,5	17,4	28,9	34,1	0,85	183	174,4	168,4	104,1	35,6
4	10,52	16,1	18,6	17,5	23,1	29,2	0,79	176	183,6	174,6	115,6	38,5
5	10,77	17,1	19,4	19,2	24,0	34,1	0,70	160	200,4	195,5	120,4	42,5
6	10,06	17,6	19,7	18,7	22,6	34,1	0,66	150	199,4	190,8	117,5	39,2
7	11,90	17,6	19,7	19,7	24,3	37,5	0,65	135	232,7	202,2	124,4	41,9
8	9,34	17,2	19,3	19,2	21,1	34,1	0,62	124	174,0	164,9	98,5	33,7
9	9,30	16,4	18,7	17,9	20,9	34,1	0,60	120	161,1	152,1	90,8	31,0
10	4,36	16,0	18,4	16,5	9,1	14,6	0,62	115	70,5	66,2	39,5	13,5

В последующие декады вегетации сумма постепенно возрастает и в седьмой декаде достигает максимума, составляя $11,9 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. Далее идет постепенное понижение и в конце вегетации сумма ФАР составляет $4,36 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$.

Прирост ПУ, как видно из табл. 4.1 и рис. 4.1, в первой декаде вегетации составляет $80,7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. В следующей декаде прирост ПУ резко возрастает до уровня $166,2 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Далее прирост ПУ постепенно увеличивается и в пятой декаде $200,4 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. В шестой декаде вегетации он незначительно снизился до $199,4 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$ и затем снова начал увеличиваться, достигая максимума в седьмой декаде до отметки $232,7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. К концу вегетации прирост ПУ резко снизился и составил $70,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Как уже ранее отмечалось уровень ПУ лимитируется фактором тепла и влаги. Эти два фактора определяют уровень следующей агроэкологической категории урожайности – метеорологически - возможный урожай (МВУ).

Рассмотрим динамику показателей влаго-температурного режима в течение вегетации сои в районе Полесья.

Как видно из табл. 4.1, нижний предел температурного оптимума для фотосинтеза этой культуры начинается с температуры $12,4 \text{ }^\circ\text{C}$, поднимается до максимума в седьмой декаде вегетации – $17,6 \text{ }^\circ\text{C}$, далее постепенно снижается и к концу периода составляет $16,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Верхний предел температурного оптимума начинается с температуры $14,7 \text{ }^\circ\text{C}$, достигает максимума в шестой декаде вегетации – $19,7 \text{ }^\circ\text{C}$ и снижается до $18,4 \text{ }^\circ\text{C}$ в десятой декаде вегетации.

Кривая хода среднедекадной температуры воздуха (t_{cp}) (рис. 4.2) начинается с отметки $14,7 \text{ }^\circ\text{C}$, далее плавно поднимается, достигает максимума в седьмой декаде вегетации и составляет $19,7 \text{ }^\circ\text{C}$. В конце вегетации среднедекадная температура воздуха достигла отметки $16,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Комплексное влияние основных метеорологических факторов определяет метеорологически -

возможную урожайность, которая является интегральной характеристикой агрометеорологических ресурсов.

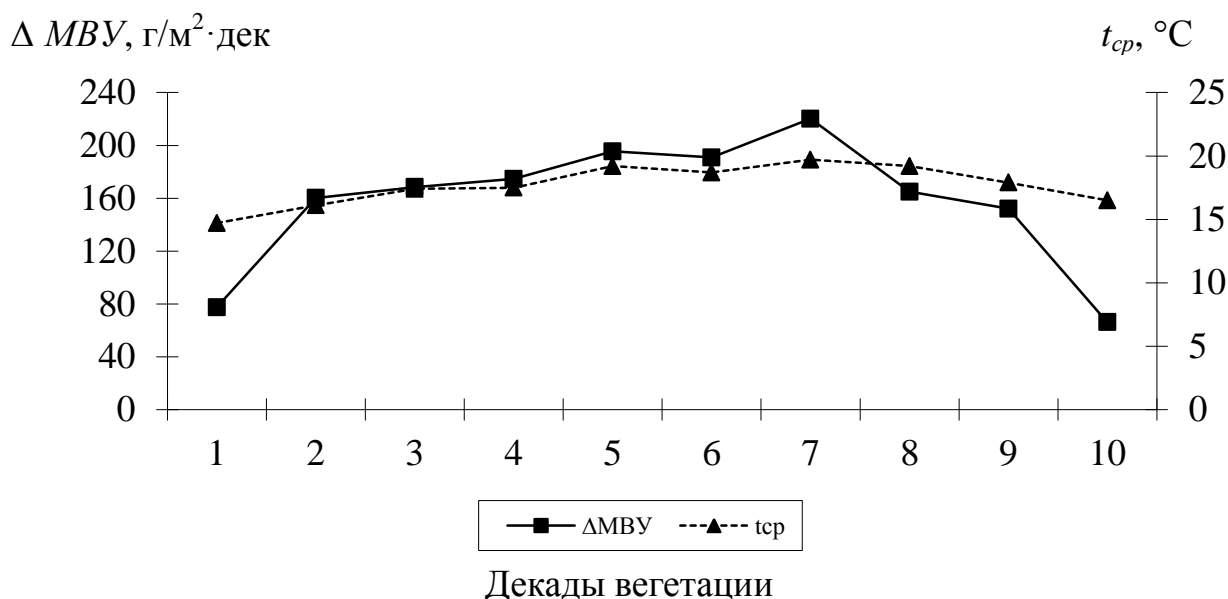


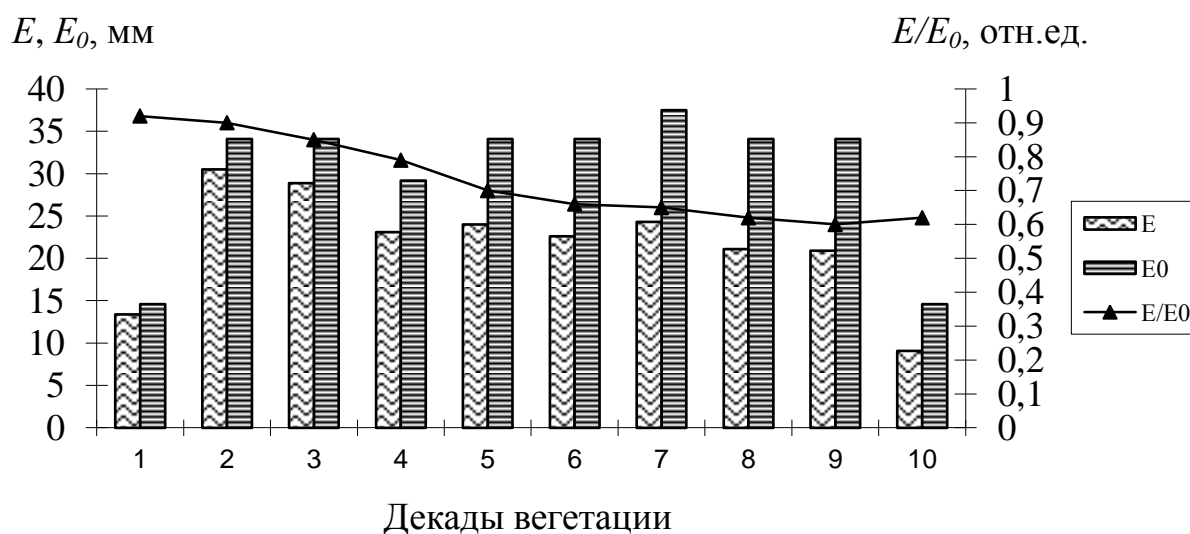
Рис. 4.2. Декадный ход среднедекадной температуры воздуха (t_{cp}) и приростов метеорологически - возможного урожая (ΔMBU) сои в Полесье

В начальный период вегетации (рис. 4.2) прирост MBU составляет 78,1 г/м²·дек., далее кривая резко поднимается в следующей декаде до 160,2 г/м²·дек. В последующие периоды наблюдается ее плавный рост до отметки 195,5 г/м²·дек. Однако в шестой декаде наблюдается небольшое снижение, затем кривая опять повышается, достигая максимальное значение в седьмой декаде вегетации и составляет 202,2 г/м²·дек. Затем приросты MBU плавно снижаются и в конце вегетации происходит резкое снижение приростов до 66,2 г/м²·дек.

Соя предъявляет повышенные требования к влаге, хотя и не одинаковые во все периоды вегетации. Она достаточно засухоустойчивая в начальный период роста до цветения, но недостаток влаги в это время снижает продуктивность растений сои и развитие нижних бобов. С фазы цветения потребность во влаге очень резко возрастает, что связано с интенсивным развитием зеленой массы и увеличением испаряющей поверхности.

Рассмотрим динамику показателей водного режима посевов сои в течение вегетации. Суммарное испарение (E) в первой декаде вегетации от всходов составляет 13,4 мм (рис. 4.3 и табл. 4.1), затем по мере роста температуры воздуха суммарное испарение возрастает до 30,5 мм во второй декаде вегетации. Затем медленно снижается и к концу вегетации происходит резкое снижение до отметки 9,1 мм.

Испаряемость (E_0) в начальный период вегетации сои составляет 14,6 мм. Далее в последующих двух декадах вегетации испаряемость составляет 34,1 мм, затем по мере снижения температуры наблюдается небольшое понижение испаряемости, но в последующие три декады наблюдается повышение, достигая максимума в седьмой декаде вегетации до отметки 37,5 мм. В конце вегетации испаряемость резко снизилась до 14,6 мм.



E – испарение; E_0 – испаряемость; E/E_0 – влагообеспеченность посевов

Рис. 4.3. Декадный ход характеристик водного режима посевов сои в Полесье

Отношение суммарного испарения к испаряемости (E/E_0) характеризует влагообеспеченность посевов.

Рассмотрение динамики отношения E/E_0 (рис. 4.3) показывает, что в начале вегетации сои она находится на отметке 0,92 отн. ед., постепенно

снижаясь достигает наиболее низких значений в девятой декаде вегетации – 0,60 отн. ед., а к концу вегетации несколько повышается и составляет 0,62 отн. ед.

Как видно из табл. 4.1, максимальное значение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы наблюдалось в первой декаде и составило 196 мм. Далее запасы влаги постепенно снижаются и в десятой декаде вегетации достигли минимального значения 115 мм.

Ход динамики приростов действительно-возможной урожайности ($\Delta ДВУ$) представлен на рис. 4.4. В начальный период вегетации прирост начинается с отметки 48,0 г/м²·дек, далее резко возрастают и в пятой декаде вегетации достигает отметки 120,4 г/м²·дек, затем наблюдается небольшое понижение, однако в последующей декаде наблюдается максимум прироста ДВУ до 124,4 г/м²·дек. В последующие декады приросты ДВУ снижаются и к концу вегетационного периода составляют 39,5 г/м²·дек.

Приросты урожайности в производстве в первую декаду составили 16,4 г/м²·дек. Начиная со второй декады вегетации, приросты УПР, плавно возрастали и в середине вегетационного периода достигали максимума 42,5 г/м²·дек. После чего уменьшение приростов УПР идет плавно до конца вегетации и составляют 13,5 г/м²·дек (рис. 4.4).

$\Delta ДВУ, \Delta УПР, \text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$

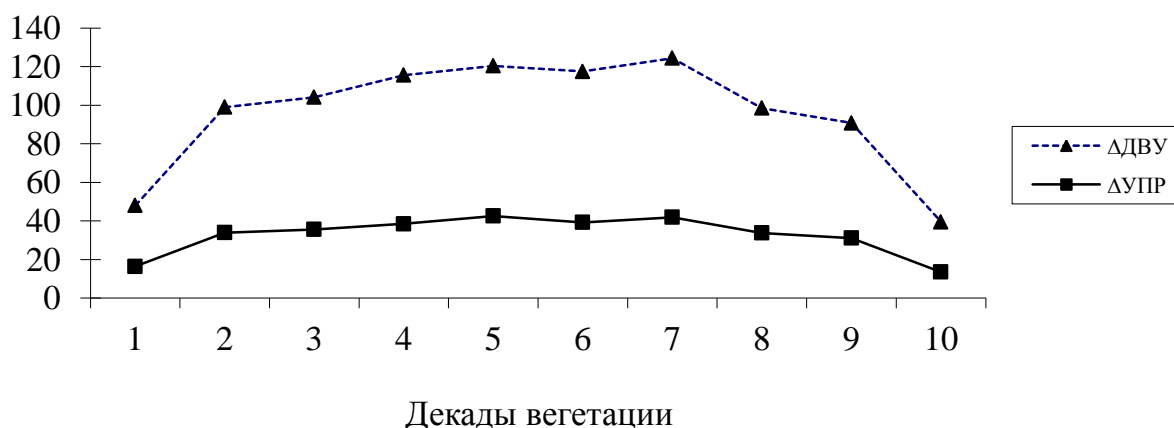


Рис. 4.4. Динамика приростов действительно-возможного урожая ($\Delta ДВУ$) и урожая в производстве ($\Delta УПР$) сои в Полесье

4.2. Агроклиматические условия и динамика приростов агроэкологических категорий урожайности в Лесостепи

Динамика сумм ΦAP и прирост потенциального урожая сои представлены на рис. 4.5. В Лесостепи приход сумм ΦAP в первой декаде вегетации составил $6,03 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$, затем во второй декаде наблюдается повышение значений до $11,06 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. С третьей декады и до четвертой декады сумма ΦAP уменьшается и составляет $9,93 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$.

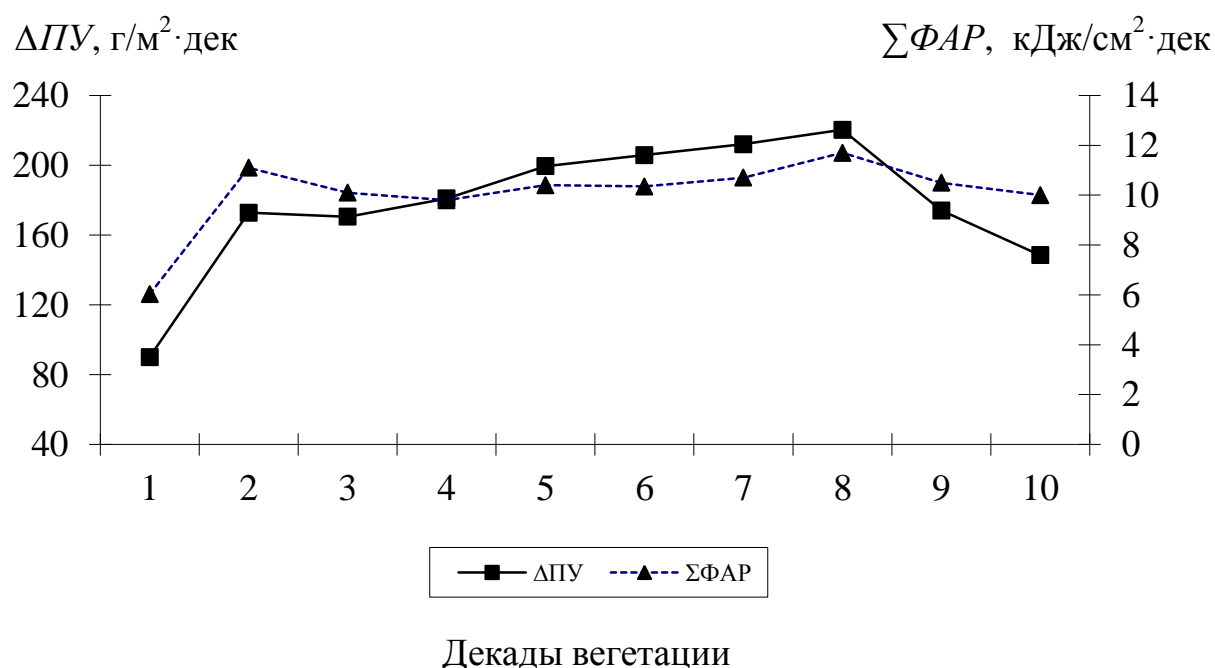


Рис. 4.5. Динамика декадных сумм ΦAP ($\Sigma \Phi AP$) и приростов потенциального урожая ($\Delta ПУ$) сои в Лесостепи

В последующие периоды вегетации идет плавное возрастание сумм ΦAP до $11,85 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. Это значение является максимальным для всего периода вегетации. С восьмой декады начинается плавное уменьшение и в последнюю декаду вегетации она составила $10 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$.

Для динамики прироста потенциального урожая ($\Delta ПУ$) (табл. 4.2, рис. 4.5,) характерно, что в первой декаде вегетации после всходов прирост $ПУ$ составил $89 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Начиная со второй декады вегетации он возрастает и

достигает отметки $172,8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Далее прирост *ПУ* немного уменьшается, однако в последующие декады прирост постепенно увеличивается и в восьмую декаду вегетации до отметки достигает максимальных значений $228,6 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. С девятой декады начинает постепенно уменьшаться прирост *ПУ* и в последнюю декаду вегетации он составил $148,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Влаго-температурный режим является фактором, корректирующим урожайность. Рассмотрим динамику оптимальных значений температуры в Лесостепной зоне в сопоставлении с ходом среднедекадной температуры воздуха в течение вегетации (табл. 4.2).

Нижняя граница оптимальной температуры воздуха начинается с температуры $12,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Затем плавно поднимается, достигая максимума в седьмой декаде вегетации – $17,6 \text{ }^\circ\text{C}$ и к концу периода составляет $16,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Верхняя граница температурного оптимума начинается с температуры $14,3 \text{ }^\circ\text{C}$, далее идет плавный рост и достигает максимума в седьмой декаде вегетации – $19,8 \text{ }^\circ\text{C}$ и в конце вегетации составляет $18,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

В первую декаду вегетации среднедекадная температура воздуха (t_{cp}) (рис. 4.6) начинается с отметки $12,1 \text{ }^\circ\text{C}$, далее плавно поднимается, достигая максимума в восьмой декаде вегетации – $19,7 \text{ }^\circ\text{C}$. В последующей декаде наблюдается плавное падение до отметки $18,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

На рис. 4.6 представлена динамика прироста метеорологически-возможного урожая (ΔMBY) в Лесостепной зоне. В начальный период вегетации прирост *MBY* составил $80,7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Далее кривая резко возрастает и во второй декаде вегетации достигает уровня $164,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. В последующие периоды наблюдается ее плавный рост.

Максимальное значение наблюдается в восьмой декаде вегетации и составляет $210,3 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Затем приросты *MBY* плавно снижаются и к концу вегетации прирост *MBY* составляет $128,8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Таблица 4.2

Агроклиматические условия формирования агроэкологических категорий урожайности сои в Лесостепи

Декады вегетации	Сумма ФАР за декаду, кДж/см ² ·дек	Оптимальные температуры воздуха для фотосинтеза, °С		Средняя температура воздуха за декаду, °С	Суммарное испарение, мм	Испаряемость, мм	Влагообеспеченность, отн.ед.	Запасы влаги в слое 0-100 см, мм	Приросты агроэкологических категорий урожайности, г/м ² ·дек			
		нижняя граница	верхняя граница						ΔПУ	ΔМВУ	ΔДВУ	ΔУПР
1	6,03	12,1	14,3	12,0	19,4	23,4	0,83	166	89,0	80,7	49,1	16,8
2	11,06	13,3	15,7	15,5	29,2	37,5	0,78	163	172,8	164,5	103,0	35,2
3	10,06	14,5	17,0	16,8	25,5	34,1	0,75	161	170,5	168,3	103,7	35,5
4	9,93	15,7	18,2	18,0	27,6	39,0	0,71	159	181,0	174,6	110,0	37,6
5	10,39	16,6	19,0	18,2	25,9	39,0	0,67	154	199,5	183,8	121,3	41,5
6	10,35	17,3	19,5	18,2	27,4	43,9	0,62	149	205,8	203,6	123,8	42,3
7	10,72	17,6	19,8	19,4	26,7	43,9	0,61	143	212,1	204,3	124,3	42,5
8	11,85	17,5	19,6	19,7	27,8	48,3	0,57	138	228,7	210,3	128,1	43,4
9	10,56	17,1	19,2	19,3	24,5	43,9	0,56	130	174,2	160,4	97,5	33,3
10	10,0	16,4	18,7	18,1	24,8	43,9	0,55	125	148,5	128,8	78,3	26,8

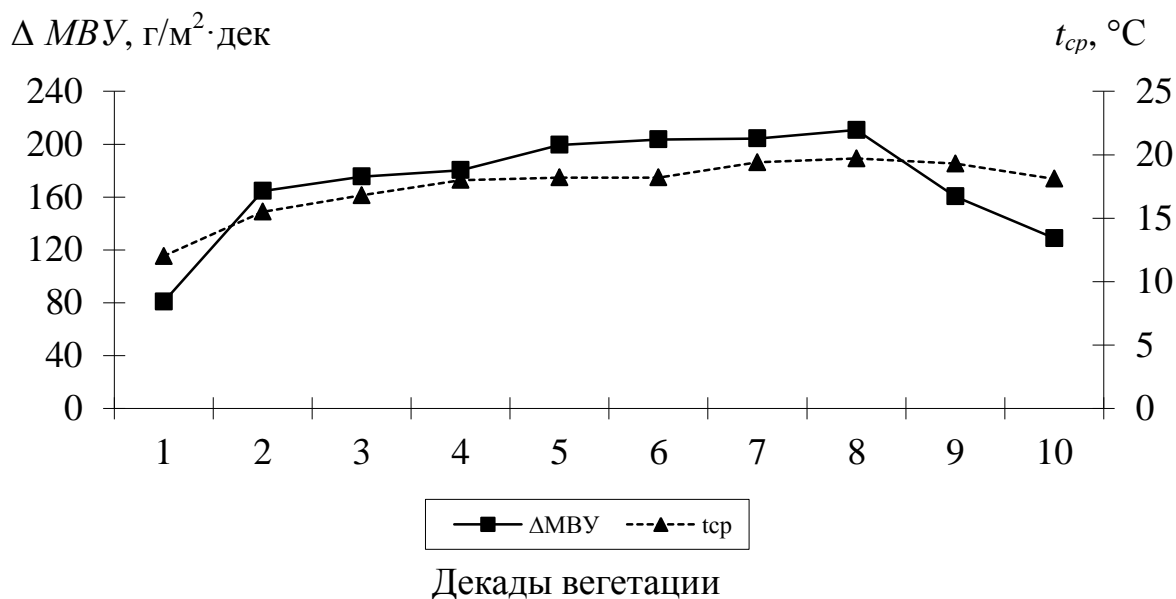
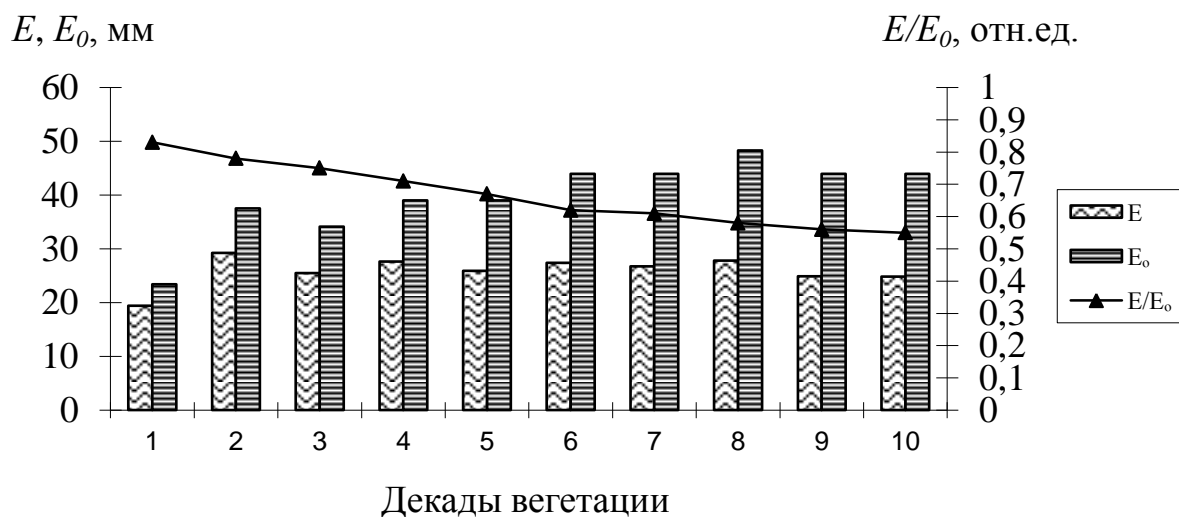


Рис. 4.6. Декадный ход средней температуры воздуха (t_{cp}) и приростов метеорологически-возможного урожая ($\Delta MBУ$) сои в Лесостепи

Суммарное испарение посевов сои имеет хорошо выраженную динамику. Как показано на рис. 4.7, в начале вегетации величина о испарения (E) составляет 19,4 мм. Резко повышаясь, достигая максимальных значений во второй декаде вегетации, составляя 29,2 мм. Затем идет медленное снижение и к концу вегетации суммарное испарение составляет 24,8 мм.



E – испарение; E_0 – испаряемость; E/E_0 – влагообеспеченность посевов

Рис. 4.7. Декадный ход характеристик водного режима посевов сои в Лесостепи

Величина испаряемости (E_0) (рис. 4.7) в начальный период вегетации сои составляет 23,4 мм. Далее во второй декаде вегетации происходит резкое повышение испаряемости до 37,5 мм. Затем небольшое понижение показателя, однако в последующие декады вегетации идет плавное повышение испаряемости и в восьмой декаде вегетации испаряемость достигает максимального значения и составляет 48,3 мм. В конце вегетации испаряемость снизилась до 43,9 мм.

Влагообеспеченность на начало вегетации достаточно высокая. Отношение E/E_0 в первую декаду вегетации составляет 0,83 отн.ед. Уровень её постепенно снижается, достигая самого низкого значения, которое наблюдается в последнюю декаду вегетации и составляет 0,55 отн.ед.

Максимальное значение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (табл. 4.2) наблюдалось в первой декаде вегетации и составило 166 мм. Далее запасы влаги постепенно снижаются и в десятой декаде вегетации достигли минимального значения 125 мм.

Ход динамики приростов действительно-возможной урожайности ($\Delta ДВУ$) и урожайности производстве ($\Delta УПР$) представлены на рис. 4.8.

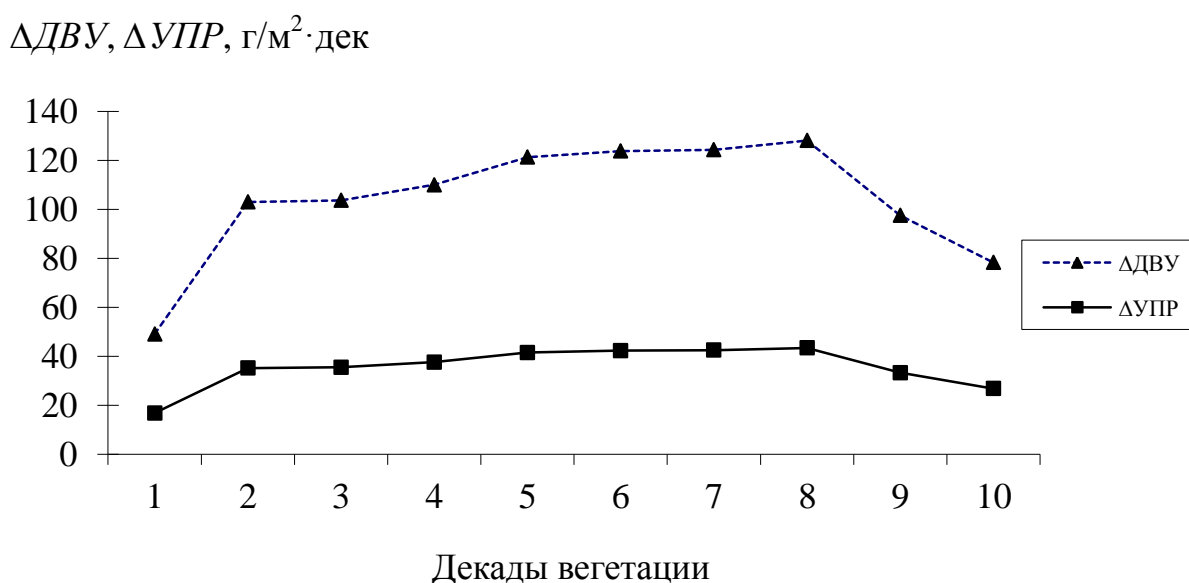


Рис. 4.8. Динамика приростов действительно-возможного урожая ($\Delta ДВУ$) и урожая в производстве ($\Delta УПР$) сои в Лесостепи

Величины приростов начинаются с отметки $49,1 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$, после чего в последующие декады вегетации $\Delta ДВУ$ начинает расти, достигая максимума в восьмой декаде вегетации и составляет $128 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. К концу вегетационного периода приросты $ДВУ$ снижаются до $78,3 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Приросты урожайности на уровне $УПР$ (рис. 4.8) начинаются с отметки $16,8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$, после чего резко возрастают во второй декаде вегетации и составляют $35,2 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Максимальных значений приросты $УПР$ достигают в восьмой декаде вегетации, и составляют $43,4 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. К концу вегетационного периода идет снижение $УПР$ до отметки $26,8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. [105].

4.3. Динамика приростов агроэкологических категорий урожайности агроклиматических условий в Северной Степи

В табл. 4.3 представлены агроклиматические условия формирования агроэкологических категорий урожайности сои в Северной Степи. Рассмотрим динамику приростов потенциальной урожайности ($\Delta ПУ$) сои и ход декадных сумм фотосинтетически активной радиации ($\PhiАР$) за вегетационный период в районе Северной Степи (рис. 4.9).

В начале вегетации сумма $\PhiАР$ составляет $6,32 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. В следующей декаде вегетации эта сумма увеличивается до $12,03 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. После этого наблюдается плавное снижение сумм $\PhiАР$ до $0,94 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$.

В последующие декады вегетации сумма постепенно возрастает и в восьмой декаде достигает максимума, составляя $13,24 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. Далее идет постепенное понижение и в конце вегетации сумма $\PhiАР$ составляет $9,16 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$.

Прирост $ПУ$, как видно из табл. 4.3 и рис. 4.9, в первой декаде вегетации составляет $78,7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. В следующей декаде прирост $ПУ$ резко возрастает до уровня $165,8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Таблица 4.3

Агроклиматические условия формирования агроэкологических категорий урожайности сои в Северной Степи

Декады вегетации	Сумма ФАР за декаду, кДж/см ² ·дек	Оптимальные температуры воздуха для фотосинтеза, °С		Средняя температура воздуха за декаду, °С	Суммарное испарение, мм	Испаряемость, мм	Влагообеспеченность, отн.ед.	Запасы влаги в слое 0-100 см, мм	Приросты агроэкологических категорий урожайности, г/м ² ·дек			
		нижняя граница	верхняя граница						ΔПУ	ΔМВУ	ΔДВУ	ΔУПР
1	6,32	12,4	14,7	15,6	19,4	23,4	0,83	136	78,7	76,6	46,7	16,0
2	12,03	13,6	16,0	156,4	2322	42,9	0,75	133	165,8	160,5	97,9	33,5
3	10,94	14,8	17,3	17,9	26,3	39,0	0,67	131	170,7	164,7	100,5	34,4
4	11,10	15,8	18,3	19,0	23,8	39,0	0,61	128	193,1	184,9	112,8	38,6
5	10,60	16,7	19,1	19,1	19,4	34,1	0,57	122	200,0	191,4	116,8	39,9
6	11,56	17,4	19,6	21,1	24,7	48,8	0,51	115	228,6	197,6	120,6	36,6
7	11,40	17,7	19,8	20,8	21,6	48,8	0,44	106	224,1	184,7	112,7	34,3
8	13,24	17,5	19,6	21,7	22,0	53,6	0,41	97	243,7	178,7	109,0	33,1
9	10,60	17,0	19,1	21,5	18,6	48,8	0,38	88	171,1	120,7	73,6	22,4
10	9,16	16,0	18,4	20,5	17,2	48,8	0,35	179	137,2	96,2	58,7	17,8

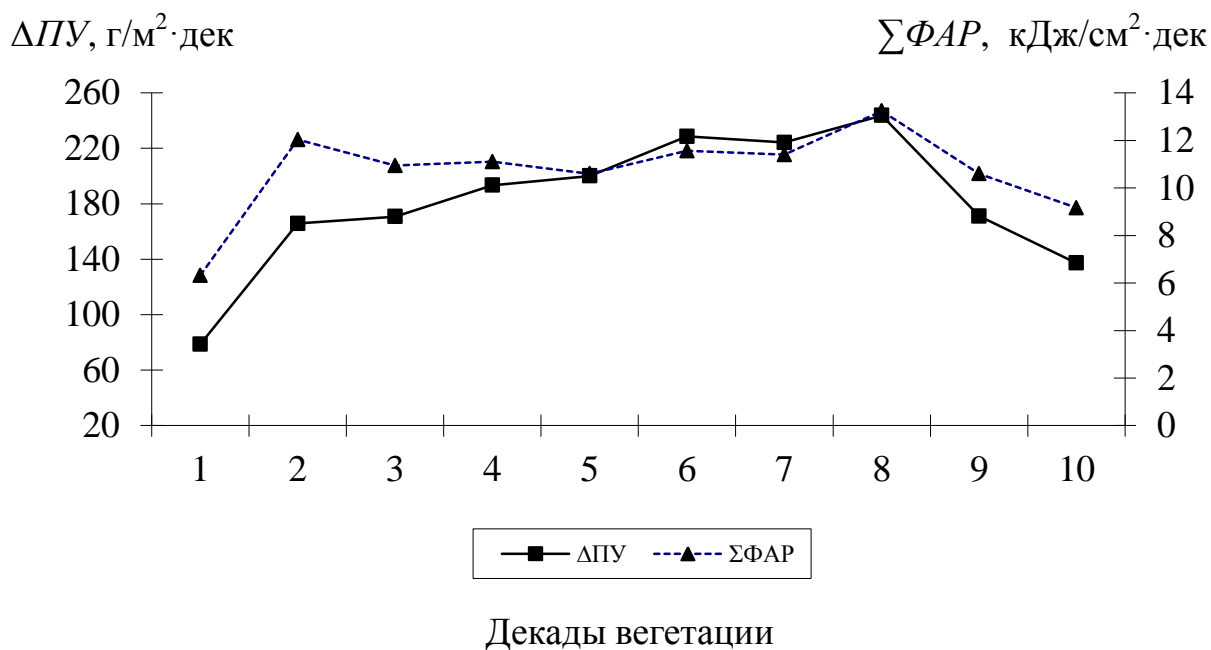


Рис. 4.9. Динамика декадных сумм ΦAP ($\Sigma \Phi AP$) и приростов потенциального урожая ($\Delta ПУ$) сои в Северной Степи

Далее прирост $ПУ$ постепенно увеличивается и в шестой декаде составляет 228,6 г/м²·дек. В седьмой декаде вегетации он незначительно снизился, а затем снова начал увеличиваться, достигая максимума в седьмой декаде до отметки 243,7 г/м²·дек. К концу вегетации прирост $ПУ$ резко снизился и составил 137,2 г/м²·дек.

Рассмотрим динамику показателей влаго-температурного режима в течение вегетации сои в Северной Степи.

Как видно из табл. 4.3, нижний предел температурного оптимума для фотосинтеза этой культуры начинается с температуры 12,4 °С, плавно поднимается и достигает максимума в седьмой декаде вегетации – 17,7 °С, далее постепенно снижается и к концу вегетации составляет 16,0 °С.

Верхний предел температурного оптимума начинается с температуры 14,7 °С, достигает максимума в седьмой декаде вегетации – 19,8 °С и снижается до 18,4 °С в конце вегетации.

Кривая хода среднедекадной температуры воздуха (t_{cp}) (рис. 4.10) начинается с отметки 15,6 °С, далее плавно поднимается, достигая максимума в седьмой декаде вегетации и составляет 21,6 °С, далее среднедекадная температура воздуха незначительно падает и в конце вегетации опускается до отметки 20,5 °С.

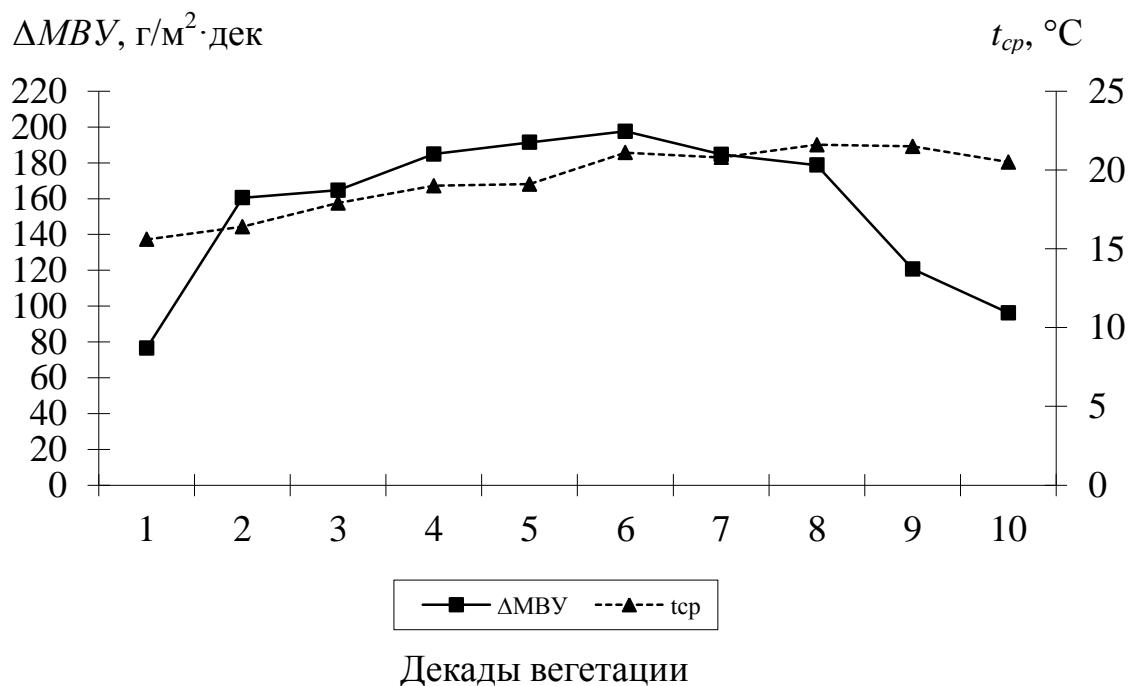


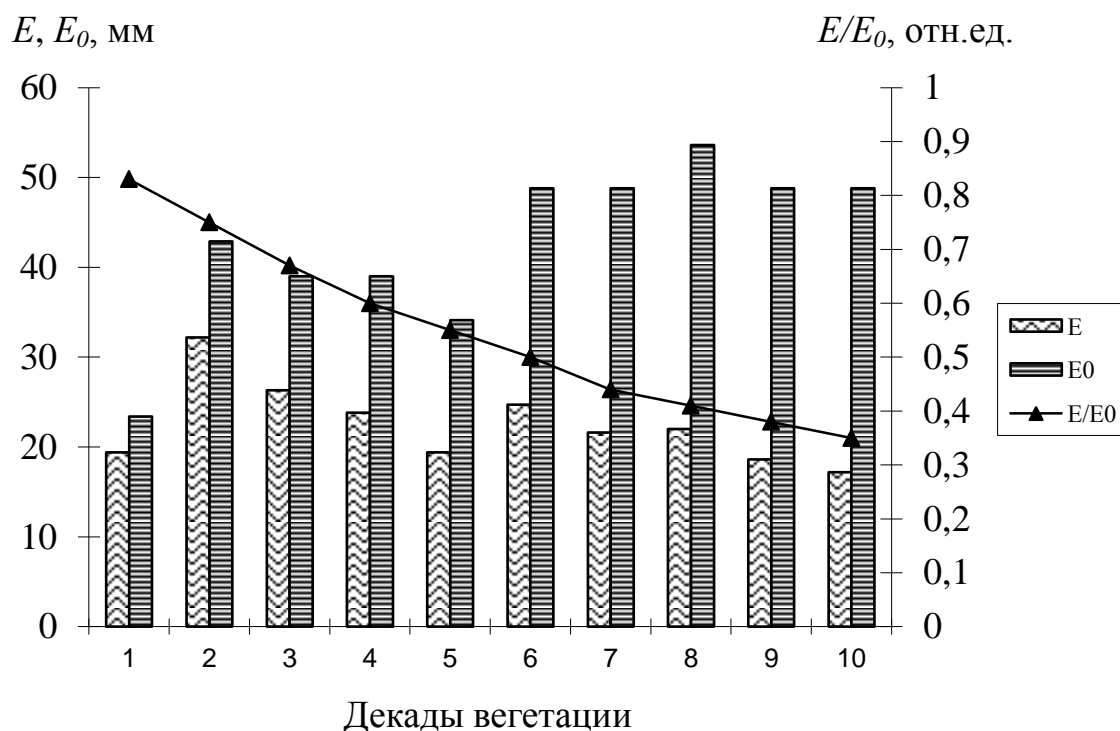
Рис. 4.10. Декадный ход средней температуры воздуха (t_{cp}) и приростов метеорологически-возможного урожая ($\Delta MBУ$) сои в Северной Степи

Анализ приростов $MBУ$ показывает (рис. 4.10), что в начальный период вегетации прирост $MBУ$ составляет 76,6 г/м²·дек, в следующей декаде приросты возрастают до 160 г/м²·дек. В последующие периоды наблюдается дальнейший плавный рост этой величины. Максимум достигается в шестой декаде и составляет 197,6 г/м²·дек. Затем приросты $MBУ$ плавно снижаются и в конце вегетации происходит резкое снижение приростов $MBУ$ до 96,2 г/м²·дек.

Потребность сои во влаге изменяется в онтогенезе. Потребление воды возрастает в период формирования генеративных органов. Рассмотрим

динамику показателей водного режима посевов сои в Северной Степи (табл. 4.3 и рис. 4.11).

Суммарное испарение (E) в первой декаде вегетации от всходов составляет 19,4 мм (рис. 4.11), затем по мере роста температуры воздуха суммарное испарение возрастает во второй декаде вегетации до 32,2 мм. Затем медленно снижается и к концу вегетации составляет 17,2 мм.



E – испарение; E_0 – испаряемость; E/E_0 – влагообеспеченность посевов

Рис. 4.11. Декадный ход характеристик водного режима посевов сои в Северной Степи

Испаряемость (E_0) в начальный период вегетации сои составляет 23,4 мм (рис. 4.11). Далее во второй декаде вегетации происходит резкое повышение испаряемости до 42,9 мм. Затем в последующие декады вегетации идет плавное понижение испаряемости до отметки 34,1 мм и в восьмой декаде вегетации испаряемость достигает максимального значения и составляет 53,6 мм. В конце вегетации испаряемость резко понизилась до 17,2 мм.

Отношение суммарного испарения к испаряемости (E/E_0) характеризует влагообеспеченность посевов. Рассмотрение динамики отношения E/E_0

(рис. 4.11) показывает, что в начале вегетации сои этот показатель находится на отметке 0,83 отн.ед., постепенно снижаясь достигает наиболее низких значений в конце вегетации и составляет 0,35 отн.ед.

Как видно из табл. 4.3, максимальное значение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы наблюдалось в первой декаде вегетации и составило 136 мм. Во второй и третьей декадах вегетации запасы влаги незначительно снизились до отметки 123 мм. Далее запасы влаги постепенно снижаются и в десятой декаде вегетации достигли минимального значения 79 мм.

Ход динамики приростов действительно-возможной урожайности ($\Delta ДВУ$) представлен на рис. 4.12.

$\Delta ДВУ, \Delta УПР, \text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$

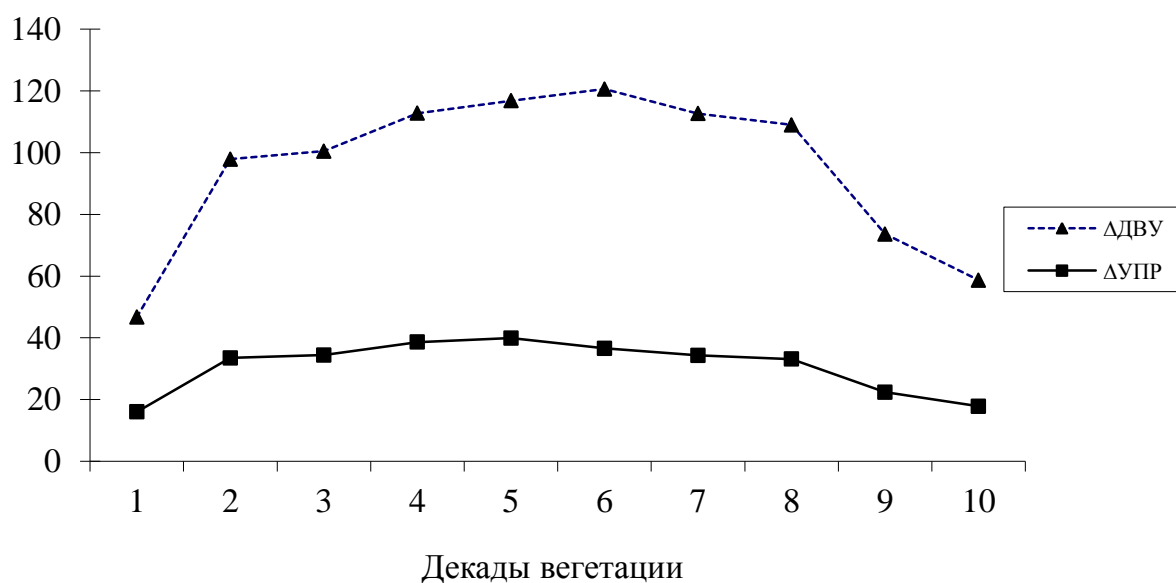


Рис. 4.12. Динамика приростов действительно-возможного урожая ($\Delta ДВУ$) и урожая в производстве ($\Delta УПР$) сои в Северной Степи

Величины приростов начинаются с отметки 46,7 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$, далее в следующей декаде вегетации резко возрастают до 97,9 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$, после чего $\Delta ДВУ$ начинает расти, достигая максимума в шестой декаде вегетации и

составляет $12,6 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. К концу вегетационного периода приросты $ДВУ$ снижаются до $58,7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Приросты урожайности на уровне $УПР$ (рис. 4.12) начинаются с отметки $16,0 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$, после чего во второй декаде вегетации резко возрастают до $33,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Затем плавно поднимаются, достигают максимума в пятой декаде вегетации и составляют $39,9 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Затем идет плавное снижение приростов, к концу вегетационного периода $\Delta УПР$ снижается до $17,8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$ [80].

4.4. Влияние агроклиматических условий на динамику приростов агроэкологических категорий урожайности в Южной Степи

Рассмотрим динамику приростов потенциальной урожайности сои и ход декадных сумм $\PhiАР$ за весь вегетационный период всходы – полная спелость в Южной Степи (рис. 4.13).

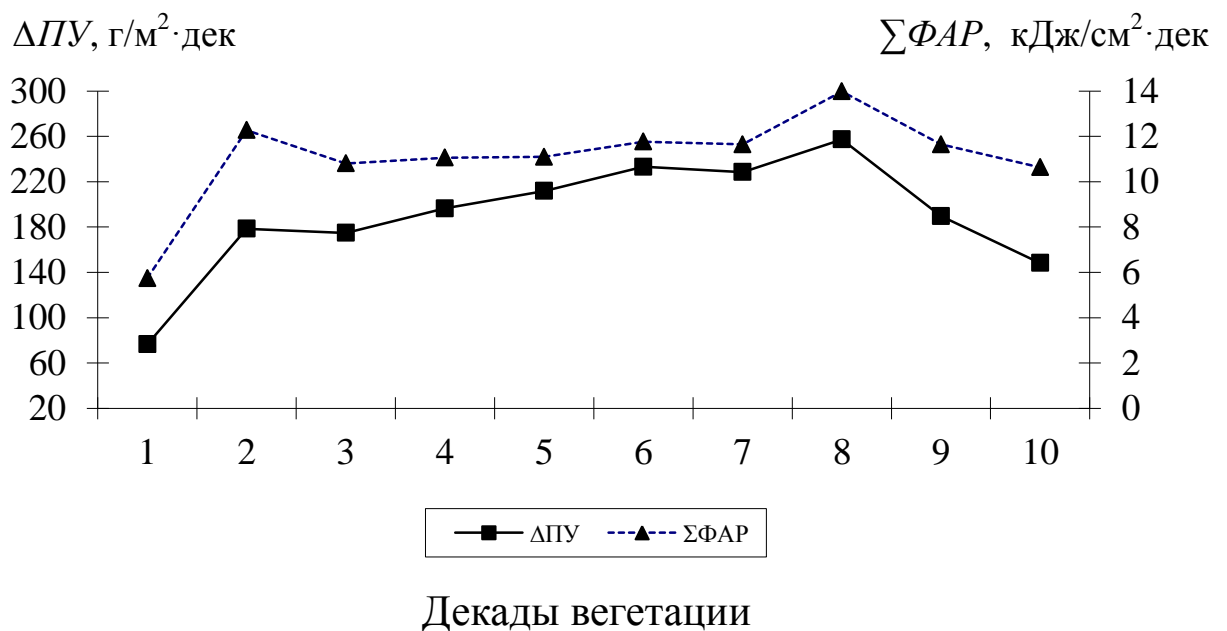


Рис. 4.13. Динамика декадных сумм $\PhiАР$ ($\Sigma\PhiАР$) и приростов потенциального урожая ($\Delta ПУ$) сои в Южной Степи

Для вегетационного хода декадных сумм $\PhiАР$ в начальный период вегетации уровень сумм $\PhiАР$ составляет $5,74 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. В следующей

декаде эта сумма увеличивается до $12,28 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$, затем в третьей декаде наблюдается понижение, однако затем наблюдается плавное повышение величин сумм ФАР до $11,77 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. В седьмой декаде наблюдается плавное снижение и в восьмой декаде эта сумма снова возрастает до максимального значения и составляет $13,99 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$. К концу вегетации сои эта величина уменьшается до $10,64 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{дек}$.

Прирост *ПУ* (рис. 4.13) в первой декаде вегетации составляет $76,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. В следующей декаде прирост *ПУ* резко возрастает и достигает отметки $178,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Далее прирост *ПУ* немного уменьшается, затем в следующую декаду постепенно увеличивается, достигая максимума в восьмой декаде вегетации, и составляет $257,4 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$. В последующие декады прирост *ПУ* начинает постепенно снижаться и в конце вегетации наблюдается падение до отметки $148,3 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Рассмотрим динамику оптимальных значений температуры в районах Южной Степи в сопоставлении с ходом среднедекадной температуры воздуха в течение вегетации (табл. 4.4).

Нижний предел температурного оптимума для фотосинтеза этой культуры начинается с температуры $12,3 \text{ }^\circ\text{C}$, поднимается до максимума в седьмой декаде вегетации – $17,7 \text{ }^\circ\text{C}$ и к концу вегетации составляет $16,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (табл. 4.4). Верхний предел температурного оптимума начинается с температуры $14,6 \text{ }^\circ\text{C}$, далее наблюдается плавный рост этих значений. В седьмой декаде вегетации температура достигает максимума – $19,8 \text{ }^\circ\text{C}$, и в конце вегетации в десятой декаде вегетации снижается до отметки $18,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рассмотрим изменения среднедекадной температуры воздуха и приростов метеорологически-возможного (*ΔМВУ*) урожая сои в Южной Степи (рис. 4.14). Среднедекадная температура воздуха (t_{cp}) начинается с отметки $16,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее постепенно поднимается, достигая максимума в девятой декаде вегетации – $23,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Затем в конце вегетационного периода наблюдается небольшое понижение температуры – $22,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 4.4

Агроклиматические условия формирования агроэкологических категорий урожайности сои в Южной Степи

Декады вегетации	Сумма ΦAP за декаду, кДж/см ² ·дек	Оптимальные температуры воздуха для фотосинтеза, °С		Средняя температура воздуха за декаду, °С	Суммарное испарение, мм	Испаряемость, мм	Влагообеспеченность, отн.ед.	Запасы влаги в слое 0-100 см, мм	Приросты агроэкологических категорий урожайности, г/м ² ·дек			
		нижняя граница	верхняя граница						$\Delta ПУ$	ΔMBV	$\Delta ДВУ$	ΔVIP
1	5,74	12,3	14,6	16,4	17,8	21,9	0,81	125	76,5	73,0	46,7	16,0
2	12,28	13,5	16,0	17,4	31,5	42,9	0,74	123	178,5	168,1	107,6	36,8
3	10,81	14,7	17,2	18,8	27,6	43,9	0,63	120	174,8	161,8	103,5	35,4
4	11,06	15,8	18,3	20,6	26,1	48,8	0,54	117	196,4	170,6	109,2	37,3
5	11,10	16,7	19,1	20,7	20,8	43,9	0,48	108	211,9	180,2	115,3	35,1
6	11,77	17,4	19,6	22,7	23,8	58,5	0,41	100	233,2	161,3	103,2	31,4
7	11,65	17,7	19,8	22,6	20,7	58,5	0,36	86	228,5	146,8	94,0	28,6
8	13,99	17,5	19,6	23,3	20,7	64,3	0,32	71	257,4	135,6	86,8	26,4
9	11,65	16,9	19,0	23,3	17,6	63,4	0,28	60	189,6	88,8	56,8	17,3
10	10,64	16,0	18,4	22,2	13,9	52,6	0,27	53	148,3	76,2	48,8	14,8

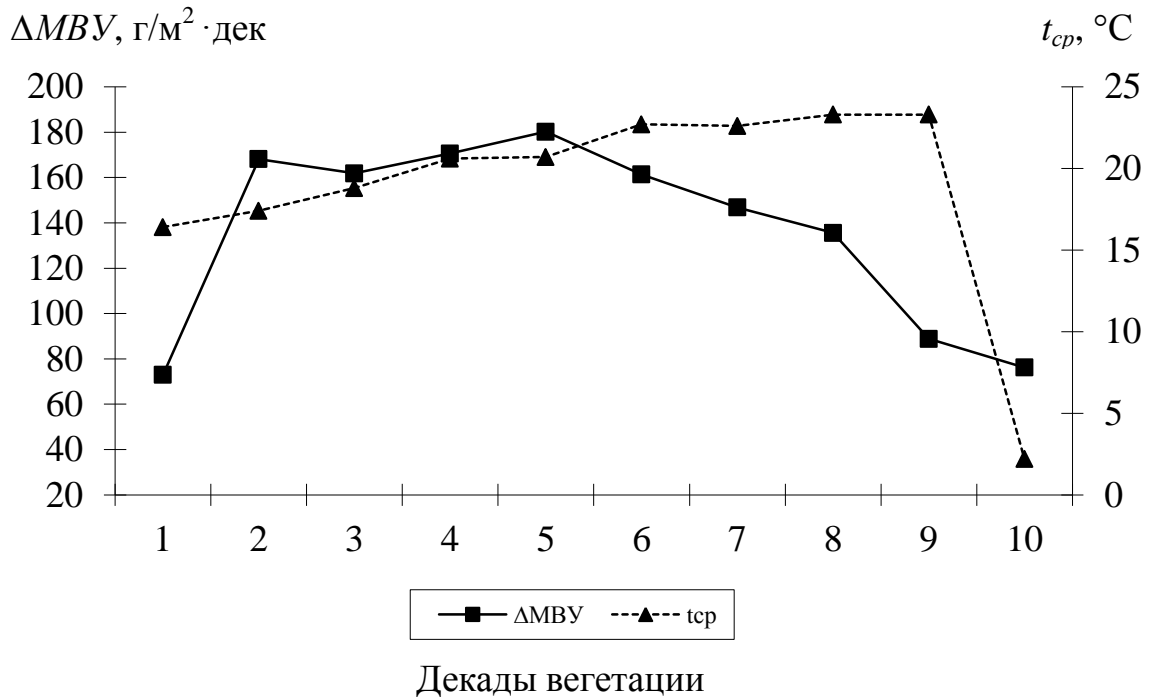
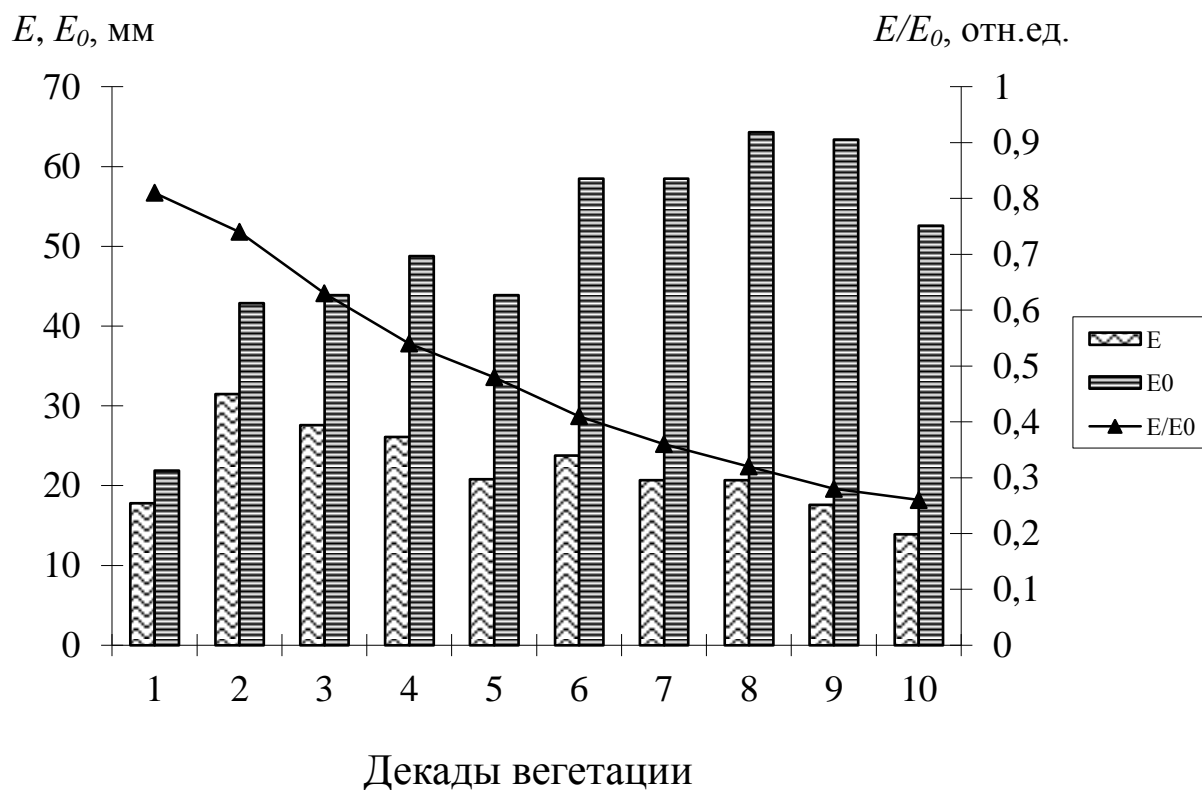


Рис. 4.14. Декадный ход средней температуры воздуха (t_{cp}) и приростов метеорологически-возможного урожая ($\Delta MBУ$) сои в Южной Степи

Анализ приростов $MBУ$ показывает, что в начальный период вегетации (рис. 4.14) прирост $MBУ$ составляет 73,0 г/м²·дек. Далее кривая поднимается во второй декаде вегетации до 68,1 г/м²·дек. Затем небольшое уменьшение в третьей декаде. В последующие периоды наблюдается ее плавный рост. Максимальное значение наблюдается в пятой декаде вегетации и составляет 180,2 г/м²·дек. Затем приросты $MBУ$ плавно снижаются и в конце вегетации происходит резкое снижение приростов $MBУ$ до 76,2 г/м²·дек.

Рассмотрим динамику показателей водного режима посевов сои в течение вегетации в районах Южной Степи (рис. 4.15).

Суммарное испарение (E) в первой декаде от всходов составляет 17,8 мм, затем по мере роста температуры воздуха суммарное испарение возрастает до 31,5 мм во второй декаде вегетации. Затем медленно снижается и к концу вегетации суммарное испарение составляет 13,9 мм.



E – испарение; E_0 – испаряемость; E/E_0 – влагообеспеченность посевов.

Рис. 4.15. Декадный ход характеристик водного режима посевов сои в Южной Степи

Испаряемость (E_0) в начальный период вегетации сои составляет 21,9 мм (рис. 4.15). Далее во второй декаде вегетации происходит резкое повышение испаряемости до 42,9 мм. Затем в последующие декады вегетации идет плавное повышение испаряемости и в восьмой декаде вегетации испаряемость достигает максимального значения и составляет 64,3 мм. В конце вегетации испаряемость снизилась до отметки 52,6 мм.

Отношение суммарного испарения к испаряемости E/E_0 характеризует влагообеспеченность посевов. Анализ динамики отношения E/E_0 (рис. 4.15) показывает, что в начале вегетации сои она находится на отметке 0,81 отн.ед., постепенно снижаясь достигает наиболее низких значений за весь период и к концу вегетационного периода уровень влагообеспеченности составляет 0,26 отн.ед.

Максимальное значение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (табл. 4.4) наблюдалось в первой декаде вегетации и составило 125 мм. Далее запасы влаги постепенно снижаются и в десятой декаде вегетации достигли минимального значения 53 мм.

Ход динамики приростов действительно-возможной урожайности ($\Delta ДВУ$) представлен на рис. 4.16.

$\Delta ДВУ, \Delta УПР, \text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$

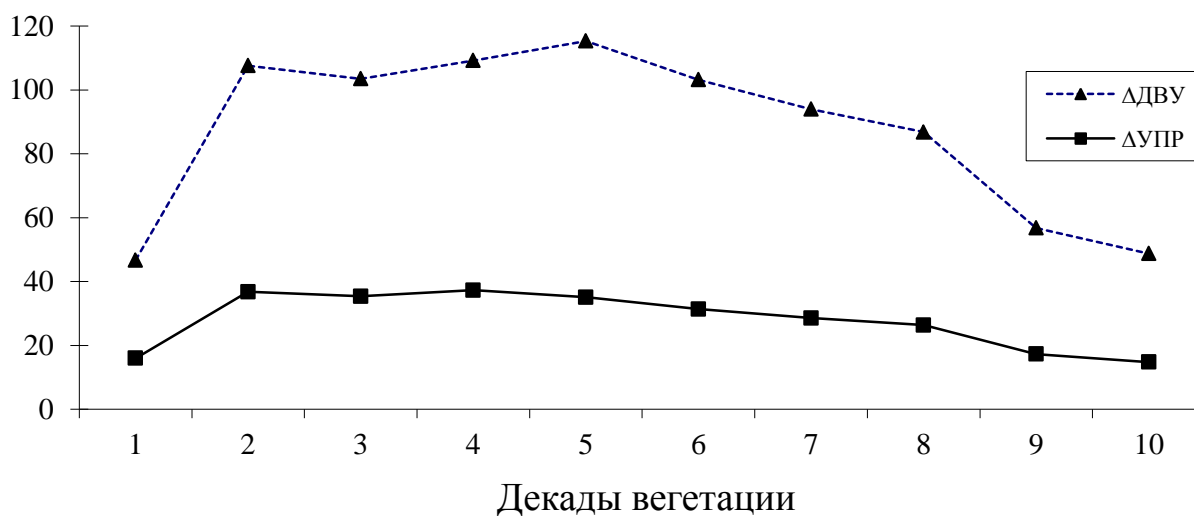


Рис. 4.16. Динамика приростов действительно-возможного урожая ($\Delta ДВУ$) и урожая в производстве ($\Delta УПР$) сои в Южной Степи

Величины приростов $ДВУ$ начинаются с отметки 46,7 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$, далее резко возрастают в следующей декаде вегетации до 107,6 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$, после чего $ДВУ$ начинает расти, достигая максимума в пятой декаде вегетации и составляет 115,3 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$. К концу вегетационного периода приросты $ДВУ$ снижаются до наиболее низкого значения – 48,8 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$.

Приросты урожайности на уровне $УПР$ (рис. 4.16) начинаются с отметки 16,0 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$, после чего резко возрастают во второй декаде вегетации и составляют 36,8 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Затем плавно поднимаются и достигают максимума в четвертой декаде до 37,3 $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек}$. Затем происходит плавное понижение

приростов и в конце вегетационного периода приросты *УПР* снижаются до минимальной отметки 14,8 г/м²·дек.

ВЫВОДЫ К РАЗДЕЛУ 4

С помощью расчетов на основе модели оценки агроклиматических ресурсов культуры сои была дана оценка ежедекадной динамики показателей приростов агроэкологических категорий урожайности под влиянием радиационного, теплового и водного режимов в условиях Полесья, Лесостепи, Северной и Южной Степи.

В течении вегетационного периода приросты потенциального урожая (*ΔПУ*) сои в Полесье изменялись от 70,5 г/м²·дек до 200,4 г/м²·дек, в Лесостепи – от 89,0 г/м²·дек до 228,7 г/м²·дек., в Северной Степи – от 78,7 г/м²·дек до 243,7 г/м²·дек, в Южной Степи – от 76,5 г/м²·дек до 257,4 г/м²·дек.

Приросты метеорологически-возможного урожая (*ΔМВУ*) в Полесье изменялись от 66,2 г/м²·дек до 202,2 г/м²·дек, в Лесостепи – от 80,7 г/м²·дек до 210,3 г/м²·дек, в Северной Степи - от 46,7 г/м²·дек до 120,6 г/м²·дек, в Южной Степи – от 73 г/м²·дек до 180,2 г/м²·дек.

Приросты действительно-возможного урожая (*ΔДВУ*) в Полесье изменялись от 39,5 г/м²·дек до 124,4 г/м²·дек, в Лесостепи – от 49 г/м²·дек до 128 г/м²·дек, в Северной Степи – от 46,7 г/м²·дек до 120,6 г/м²·дек, в Южной Степи – от 46,7 г/м²·дек до 115,3 г/м²·дек.

Приросты урожая в производстве (*ΔУПР*) в Полесье изменялись от 13,5 до 42,5 г/м²·дек, в Лесостепи – от 16,8 до 43,4 г/м²·дек, в Северной Степи – от 16,0 до 39,9 г/м²·дек, в Южной Степи – от 14,8 до 37,3 г/м²·дек. При этом показатели сумм ФАР в среднем за период вегетации в Полесье, Лесостепи, в Северной и Южной Степи составили соответственно 9,2; 10,1; 10,7 и 11,3 кДж/см²·дек [80, 105].

РАЗДЕЛ 5

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ УКРАИНЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КУЛЬТУРЕ СОИ

В настоящее время под агроклиматическими ресурсами понимаются климатические возможности территорий для получения сельскохозяйственной продукции. В этой связи подходящими характеристиками агроклиматических ресурсов являются данные о продуктивности и урожайности культур в зависимости от показателей климата [21, 23, 42, 55, 56, 60]. Однако, адекватное выражение агроклиматических ресурсов при таком подходе весьма сложно, поскольку факторы погоды воздействуют на растения непрерывно и комплексно, а результат воздействия зависит от физиологических параметров самих растений и ценотического взаимодействия в ценозах. В этом аспекте представляется обоснованным рассмотрение значений агроэкологических категорий продуктивности, отражающих комплексное воздействие агрометеорологических условий на продукционный процесс, причем ресурсы продуктивности оцениваются по отношению к конкретной культуре и даже сорту [88, 89, 90, 116, 117].

В связи с тем, что наиболее адекватное выражение агроклиматических ресурсов может быть реализовано в агроэкологических категориях урожайности, нами была проведена оценка продуктивности территории Украины применительно к культуре сои в разрезе основных категорий урожайности.

Оценка агроклиматических ресурсов по продуктивности сои проводилась на основе физико-географической карты Украины исследуемого региона, а также на основе карт агроклиматического районирования Украины [3, 45, 55, 59, 60].

Для каждой из административных областей Украины на основе среднеголетних метеорологических и агрометеорологических данных, а

также с использованием информации о внесении органических и минеральных удобрений [4, 5, 6, 27], были выполнены расчеты с помощью модели, описанной в главе 3. В результате расчетов была получена ежедекадная и осредненная за вегетационный период информация об агроклиматических условиях формирования четырех рассматриваемых агроэкологических категорий урожайности.

Остановимся более подробно на характеристике распределения агроэкологических категорий урожайности по территории Украины для каждой из рассматриваемых зон.

Для получения представления о распределении этих категорий урожайности по территории Украины за вегетационный период сои составлены соответствующие карто-схемы.

5.1. Почвенно-агроклиматические ресурсы возделывания сои в Украине

В числе многих компонентов, составляющих единую природу, важнейшим для сельского хозяйства является почва и климат, включая погоду и водные ресурсы, как производные от климата. Свет, тепло, влага и их соотношение влияют на растения не только непосредственно, но и через обусловленные ими почвообразовательные и микробиологические процессы.

Почвы Украины – один из важных видов природных ресурсов. В основном на территории Украины преобладают черноземы от типичных малогумусных, до мощных черноземов, отличающиеся высокой производительностью [81]. Обязательным элементом земельного кадастра является бонитировка почв.

На основании выполненных расчетов была сделана оценка обобщенных характеристик почвенно-климатических условий возделывания сои и ее продуктивности (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Обобщенные характеристики почвенно-агроклиматических ресурсов
возделывания сои в Украине

№	Общие показатели за период вегетации	Агроклиматические зоны			
		Полесье	Лесостепь	Северная Степь	Южная Степь
1	Балл почвенного плодородия, отн.ед.	0,60	0,70	0,62	0,64
2	Внесение азотного удобрения (N), кг/га	50	45	30	30
3	Внесение фосфорного удобрения (P), кг/га	60	50	60	60
4	Внесение калийного удобрения (K), кг/га	40	35	30	30
5	Внесения органического удобрения (навоз), т/га	25	20	17	15
6	Сумма эффективных температур выше 10 °С	723	789	930	1057
7	Сумма ФАР, кДж/см ² за период	92	99	109	111
8	Продолжительность вегетационного периода, сутки	95	98	98	90
9	Сумма осадков, мм	270	259	204	169
10	Потребность растений во влаге, мм	407	434	484	503
11	Суммарное испарение, мм	301	293	261	231
12	Дефицит влаги, мм	106	141	223	272
13	ГТК, отн.ед.	1,6	1,4	1,0	0,8

Уровень естественного плодородия почв Украины многообразен. Рассматриваемые зоны характеризуются достаточно высоким уровнем почвенного плодородия.

Балл почвенного плодородия [81] оценивается в относительных единицах и изменяется от 0,60 в Полесье до 0,70 – в Лесостепи.

Соя требует большого количества элементов питания, однако ее биологические особенности позволяют хорошо использовать последствие минеральных и органических удобрений, фиксировать молекулярный азот воздуха в симбиозе с клубеньковыми бактериями, усваивать труднодоступные формы фосфора за счет микоризообразующих грибов. Минеральные удобрения вносят с учетом почвенно-климатических условий, содержания в пахотном слое доступных форм элементов питания. Соя отзывчива на органические удобрения при непосредственном их внесении и впоследствии. Хорошие результаты обеспечивает внесение под сою навоза, но удобряют в основном минеральными удобрениями. При возделывании сои от зоны к зоне меняются дозы вносимых минеральных и органических удобрений. Азотные удобрения вносятся в дозах 30-50 кг/га, фосфорные удобрения – 50-60 кг/га, калийные удобрения – 30-40 кг/га. Норма вносимых органических удобрений под соей уменьшается с севера на юг с 25 т/га навоза до 15 т/га (табл. 5.1).

В табл. 5.1 представлены обобщенные показатели агроклиматических ресурсов возделывания сои: продолжительность вегетационного периода, сумма эффективных температур за вегетацию, сумма ΦAP , сумма осадков, потребность растений во влаге, суммарное испарение, дефицит влаги и гидротермический коэффициент Селянинова (GTK). Как видно из таблицы продолжительность вегетационного периода колеблется от 95 дней в Полесье до 98 дней в Лесостепи и Северной Степи. В зоне Южной Степи продолжительность вегетационного периода составляет 90 дней.

Суммы эффективных выше 10 °С за вегетационный период сои по исследуемым районам Украины колеблются в пределах от 723 °С в Полесье до 1057 °С в Южной Степи. В зоне Лесостепи сумма эффективных температур выше 10 °С составляет 789 °С, а в зоне Северной Степи – 930 °С. Из табл. 5.1 видно, что сумма эффективных температур в период вегетации, соответствует количеству тепла, необходимой для возделывания культуры.

Наименьшее значение суммы ΦAP за вегетационный период возделывания сои наблюдается в Полесье и составляет 92 кДж/см^2 , а максимальное значение 111 кДж/см^2 – в Южной Степи. В Лесостепи сумма ΦAP составляет 99 кДж/см^2 и 109 кДж/см^2 за вегетационный период в Северной Степи.

Также важным фактором в жизни растений является и влага. Режим увлажнения определяется главным образом количеством выпадающих осадков, который по территории Украины за вегетационный период изменяется от 169 до 270 мм. Наименьшая сумма осадков характерна для Южной Степи, а наибольшая – для Полесья.

Увлажнение территории зависит не только от количества выпадающих осадков, но и от того, сколько их расходуется на испарение и сток. Поэтому в качестве величины, характеризующий степень увлажнения территории, используют условный показатель увлажнения – гидротермический коэффициент Селянинова ($ГТК$), учитывающий одновременно приход влаги в виде осадков и суммарный ее расход на испарение. По агроклиматическим зонам Украины $ГТК$ изменяется от 1,6 отн.ед в зоне Полесья, уменьшаясь в Лесостепи до 1,4 отн.ед. Наименьшие значения $ГТК$ наблюдаются в зонах Северной и Южной Степи и составляют 1,0 – 0,8 отн.ед.

Оптимальная потребность сои во влаге за вегетационный период колеблется от 407 мм в Полесье до 503 мм в Южной Степи. Также большая потребность растений во влаге наблюдается в Северной Степи и составляет 484 мм, а в зоне Лесостепи – 434 мм (табл. 5.1).

Максимальное значение суммарного испарения составляет 301 мм в Полесье, а минимальное 231 мм в Южной Степи. В районе Лесостепи суммарное испарение составляет 293 мм, в районе Северной Степи – 261 мм за вегетационный период. Дефицит влаги за период вегетации сои колеблется от 56 мм в Полесье до 262 мм в Южной Степи. В районе Лесостепи дефицит влаги составляет 134 мм, а в районе Северной Степи – 223 мм.

5.2. Агрэкологические категории урожайности

Рассчитанные значения позволили оценить распределения различных агроэкологических категорий урожая семян сои при его стандартной 14 %-ной влажности семян (табл. 5.2). По значениям потенциального урожая (*ПУ*) сои на территории Украины выделено пять районов:

1. ≤ 40 ц/га;
2. 41-70 ц/га;
3. 71-100 ц/га;
4. 101-130 ц/га;
5. > 130 ц/га (при орошении).

Как видно из табл. 5.2 и рис. 5.1 распределение потенциального урожая в сои по Украине неодинаковое. Наименьшие урожаи *ПУ* (40 и менее ц/га) наблюдаются в богарных условиях восточной части Северной Степи. Значения потенциального урожая в пределах 41-70 ц/га наблюдаются в центральных и восточных районах Полесья и восточных районах Северной Степи, а также в богарных и центральных районах Южной Степи. Самые высокие потенциальные урожаи зерна сои наблюдаются на орошаемых полях Южной Степи (более 130 ц/га).

Аналогично распределению потенциального урожая наблюдается распределение и метеорологически-возможного урожая (*МВУ*) (табл. 5.1, рис. 5.2), уровень которого по территории Украины ниже значений *ПУ* на 10-30 ц/га. По значению *МВУ* выделено также пять районов:

1. ≤ 40 ц/га;
2. 41-60 ц/га;
3. 61-80 ц/га;
4. 81-100 ц/га; .
5. > 100 ц/га (при орошении)

Таблица 5.2

Обобщенные характеристики агроклиматических условий продуктивности сои в Украине

№	Агроэкологические категории урожайности и обобщенные показатели	Районы	Агроклиматические зоны			
			Полесье	Лесостепь	Северная Степь	Южная Степь
1	<i>ПУ</i> семян, ц/га	1			≤ 40	
		2	41-70	41-70	41-70	41-70
		3	71-100	71-100	71-100	71-100
		4			101-130	
		5				> 130 (при орошении)
2	<i>МВУ</i> семян, ц/га	1			≤ 40	
		2	41-60	41-60	41-60	41-60
		3	61-80	61-80	61-80	61-80
		4	81-100	81-100	81-100	81-100
		5				> 100 (при орошении)
3	<i>ДВУ</i> семян, ц/га	1			≤ 30	≤ 30
		2	31-40	31-40	31-40	31-40
		3	41-50	41-50	41-50	41-50
		4		51-60	51-60	
		5				> 60 (при орошении)
4	<i>УПР</i> семян, ц/га	1			≤ 8,0	
		2	8,1-12,0	8,1-12,0	8,1-12,0	8,1-12,0
		3	12,1-16,0	12,1-16,0	12,1-16,0	12,1-16,0
		4	16,1-20,0	16,1-20,0	16,1-20,0	16,1-20,0
		5				> 20,0 (при орошении)

Продолжение таблицы 5.2

5	Оценка степени благоприятствия агроклиматических условий (K_M), отн. ед.	1				< 0,800
		2	0,801-0,900	0,801-0,900	0,801-0,900	0,801-0,900
		3	> 0,900	> 0,900		
6	Оценка уровня использования агроклиматических ресурсов ($K_{акл}$), отн. ед.	1	0,181-0,200	0,181-0,200	0,181-0,200	0,181-0,200
		2	0,201-0,220	0,201-0,220	0,201-0,220	0,201-0,220
		3		0,221-0,240		

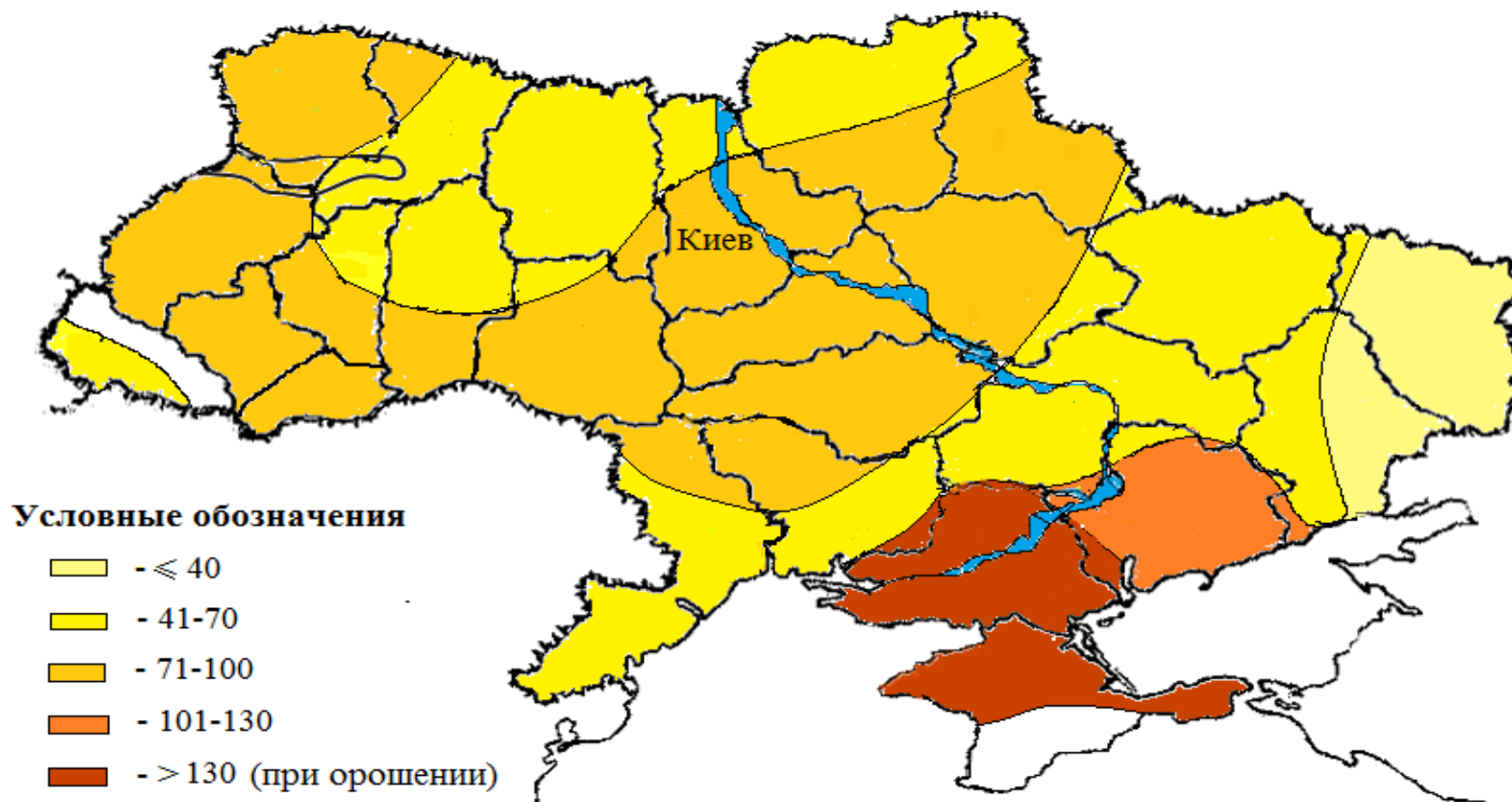


Рис. 5.1. Карто-схема распределения потенциального урожая (ПУ) сои на территории Украины, ц/га

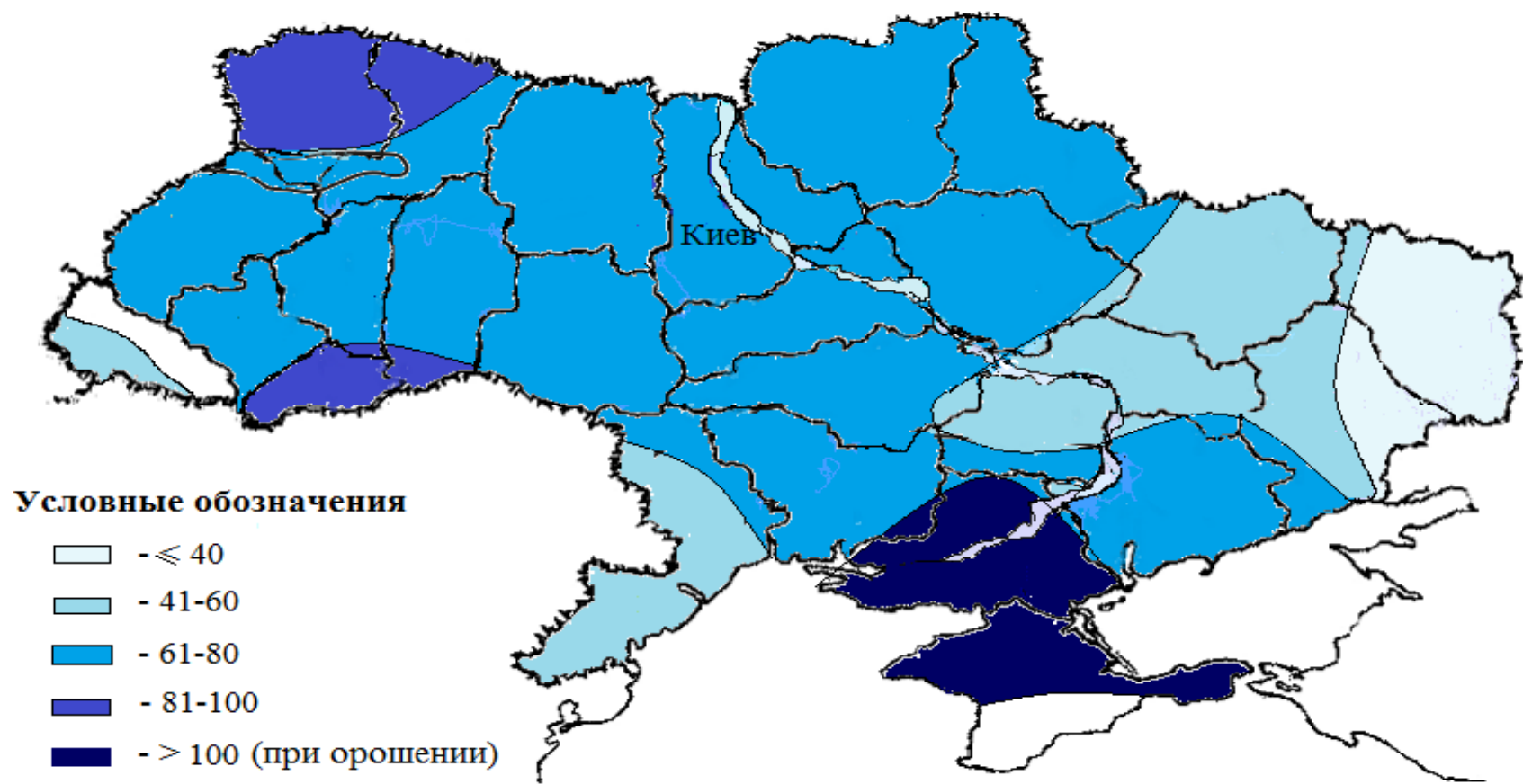


Рис. 5.2. Карто-схема распределения метеорологически-возможного урожая (МВУ) сои на территории Украины, ц/га

Как видно из табл. 5.2 и рис. 5.2 распределение метеорологически-возможного (*МВУ*) урожая семян сои по Украине также неодинаковое. Наименьшие урожаи (40 ц/га и менее) наблюдаются в богарных условиях восточной части Северной Степи. Урожаи *МВУ* в пределах 61-80 ц/га наблюдаются в центральных и восточных районах Полесья, практически по всей территории Лесостепи, центральных районах Северной и Южной Степи и частично на юге-востоке Южной Степи. Самые высокие уровни *МВУ* наблюдаются в орошаемых районах Южной Степи (более 100 ц/га).

Распределение действительно-возможного урожая (*ДВУ*) сои по территории Украины представлено в табл. 5.2 и на рис. 5.3, при этом его уровень ниже значений *МВУ* на 10-40 ц/га. По значению *ДВУ* также выделено пять районов:

1. ≤ 30 ц/га;
2. 31-40 ц/га;
3. 41-50 ц/га;
4. 51-60 ц/га;
5. > 60 ц/га (при орошении).

Как видно из табл. 5.2 и рис. 5.3, распределение действительно-возможного урожая бобов сои по Украине также неоднородное. Наименьшие урожаи (30 и менее ц/га) наблюдаются в богарных условиях восточной части Северной Степи. Урожаи *ДВУ* в пределах 31-40 ц/га наблюдаются в центральных и восточных районах Полесья, в западных и восточных районах Лесостепи, центральных и восточных районах Северной Степи и частично на богаре Южной Степи. Немного выше урожай *ДВУ* (41-50 ц/га) наблюдается на крайних западных районах и частично центральных районах Полесья, центральных районах Лесостепи, а также в западных районах Северной Степи. Самые высокие урожаи наблюдаются в орошаемых районах Южной Степи (более 60 ц/га).

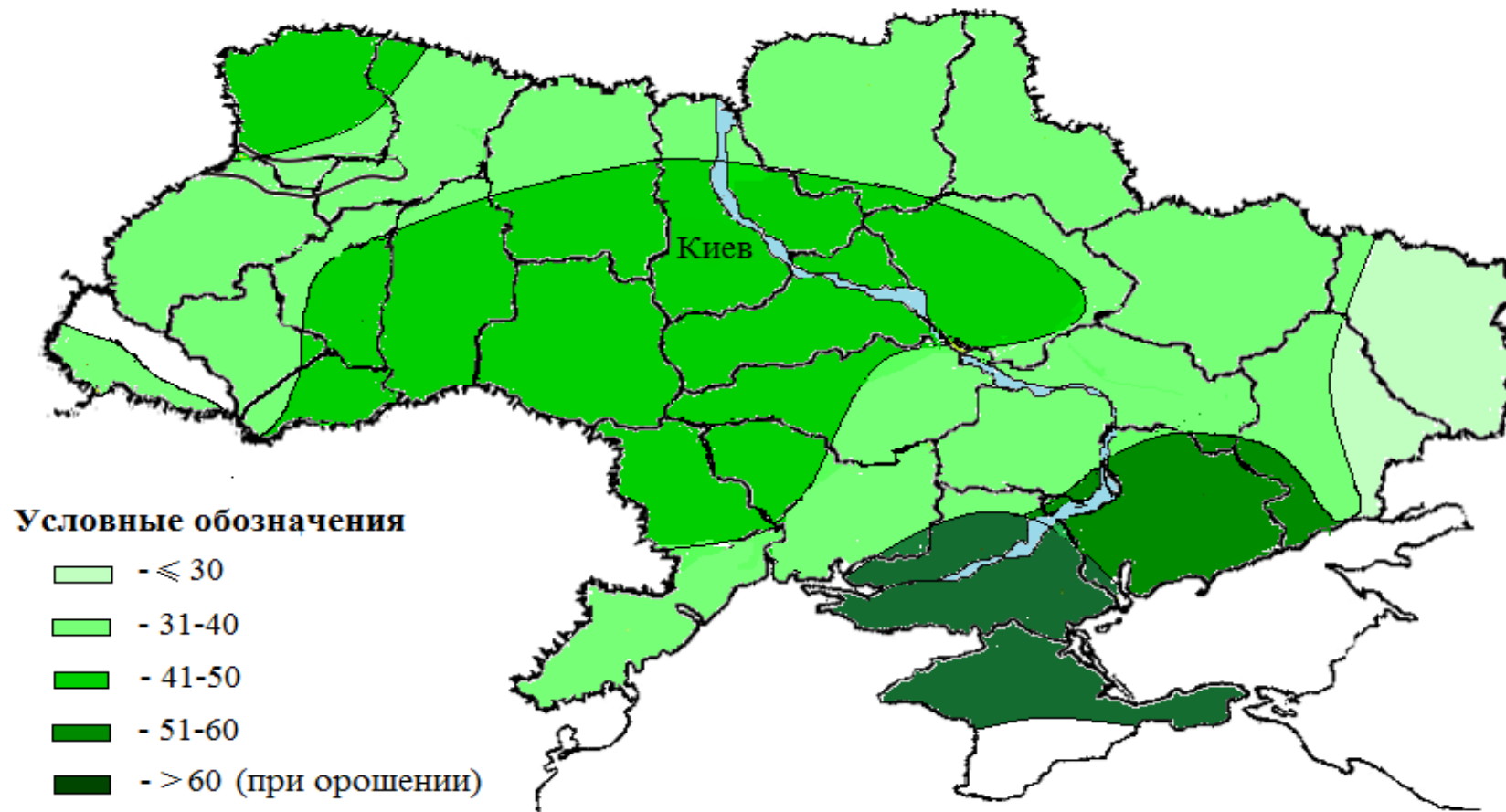


Рис. 5.3. Карто-схема распределения действительно-возможного урожая (ДВУ) сои на территории Украины, ц/га

По территории Украины распределение производственных урожаев (*УПП*) отличается в меньшей степени (табл. 5.2 и рис. 5.4). По значению *УПП* также выделено пять районов:

1. $\leq 8,0$ ц/га;
2. 8,1-12,0 ц/га;
3. 12,1-16,0 ц/га;
4. 16,1 – 20,0 ц/га;
5. $> 20,1$ ц/га (при орошении).

Как видно из табл. 5.2 и рис. 5.4, величина урожая сои в производстве по Украине также неоднородная. Значение *УПП* колеблется от 8 ц/га до 20 ц/га и выше. Самые низкие значения *УПП* сои наблюдаются в восточных районах Северной Степи. Немного выше (8,1-12,0 ц/га) в Закарпатье, в западных районах Лесостепи, в западных и восточных районах Северной Степи, а также на богаре Южной Степи. Для большинства районов территории Полесья и Лесостепи характерно увеличение значений *УПП* (до 20 ц/га). Самые высокие урожаи *УПП* (больше 20,1 ц/га) наблюдаются на орошаемых землях Южной Степи.

5.3. Комплексные оценки агроклиматических ресурсов Украины

Анализ разных агроэкологических категорий урожайности (*ПУ*, *МВУ*, *ДВУ*, *УПП*) и их отношений, а также отличия между ними позволили оценить природные и антропогенные ресурсы сельского хозяйства и эффективность хозяйственного использования этих ресурсов.

Для использования анализа агроэкологических категорий урожайности сои были рассчитаны обобщенные характеристики: K_m - степень благоприятствия агроклиматических условий выращивания сои; $K_{акл}$ – степень эффективности использования агроклиматических ресурсов. Все рассчитанные оценки выражены в относительных единицах.

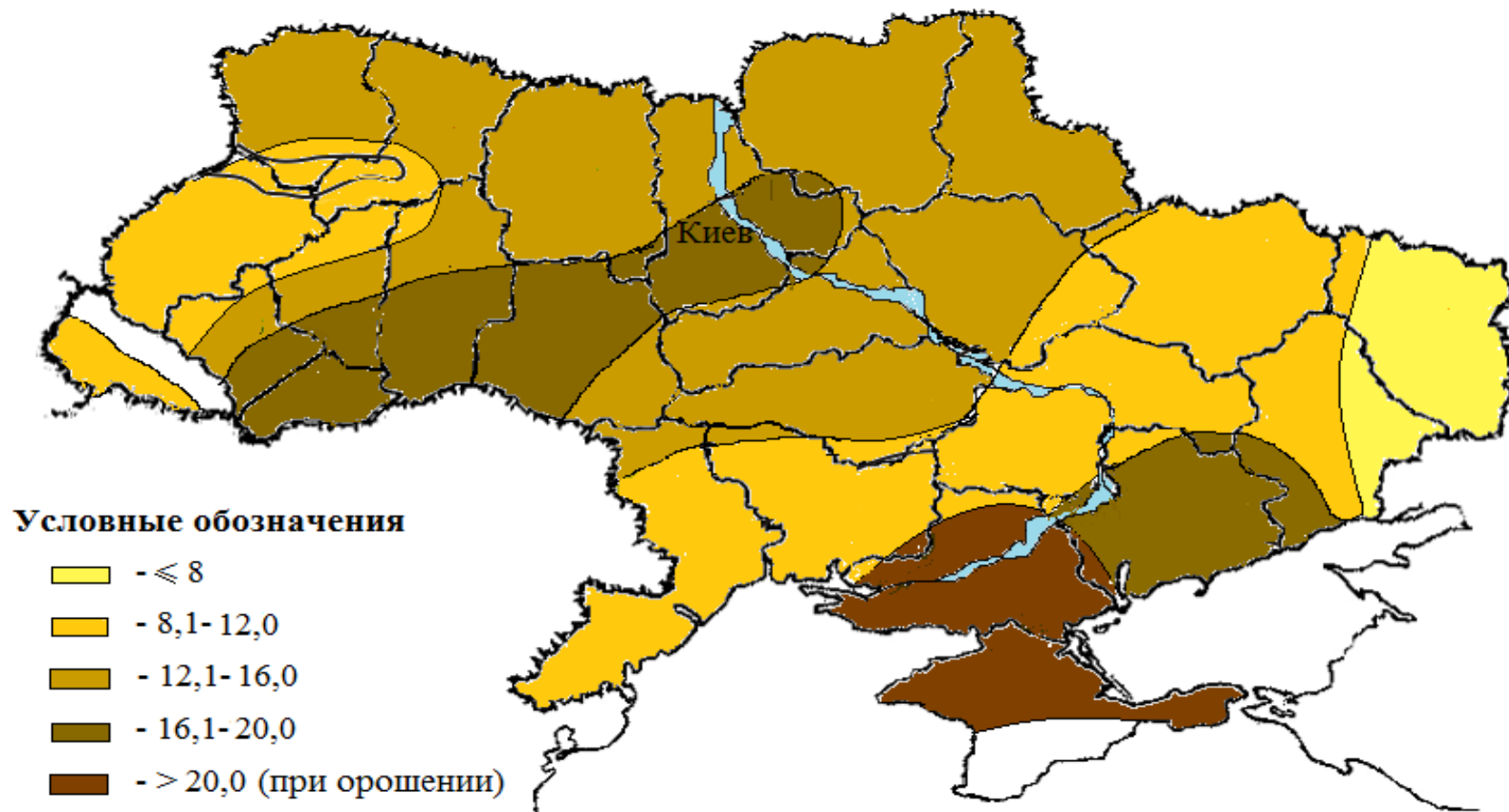


Рис. 5.4. Карто-схема распределения урожая сои в производстве (УПП) на территории Украины, ц/га

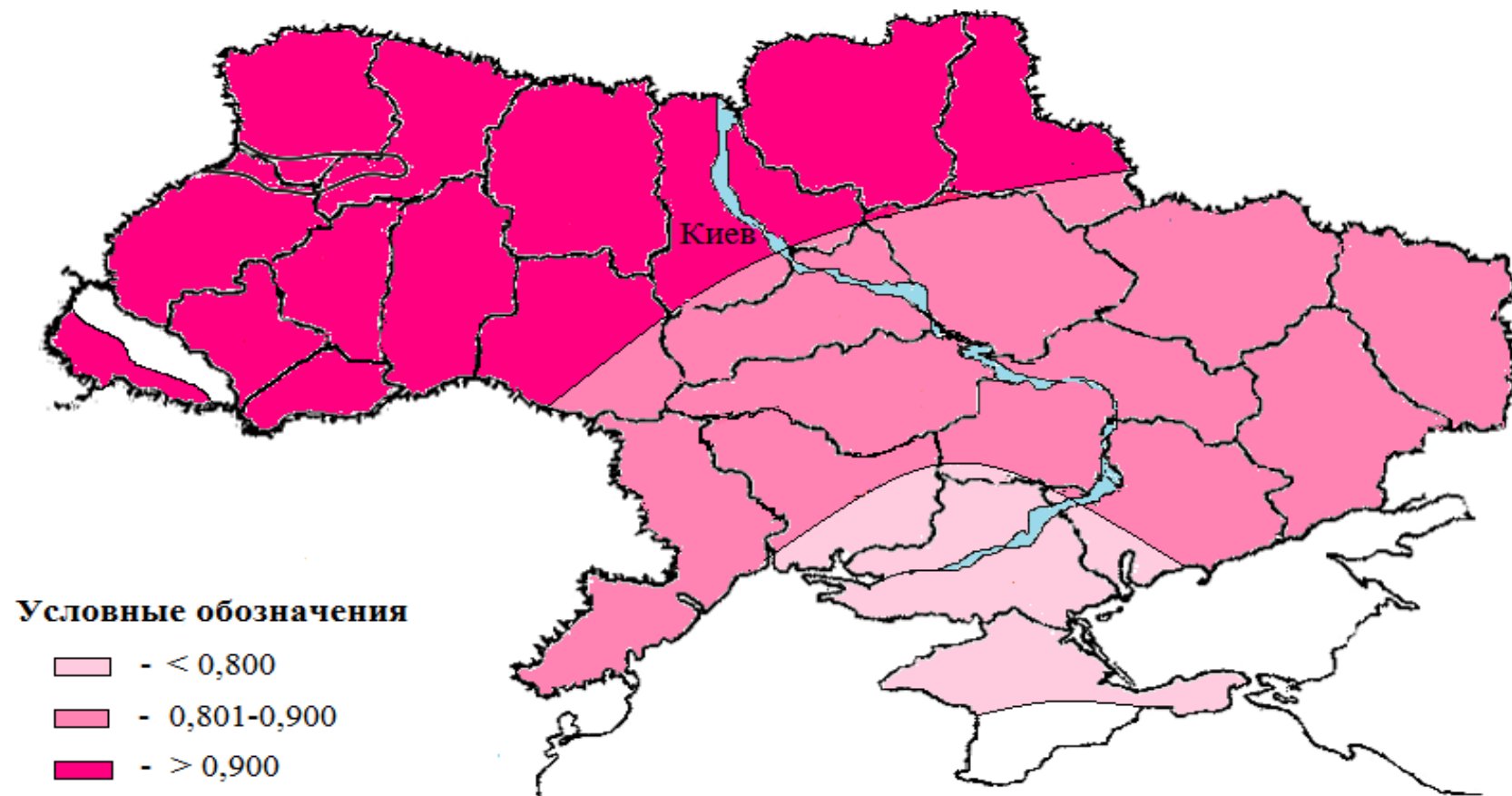


Рис. 5.5. Карто-схема распределения оценок степени благоприятствия агроклиматических условий (K_m) возделывания сои, отн. ед.

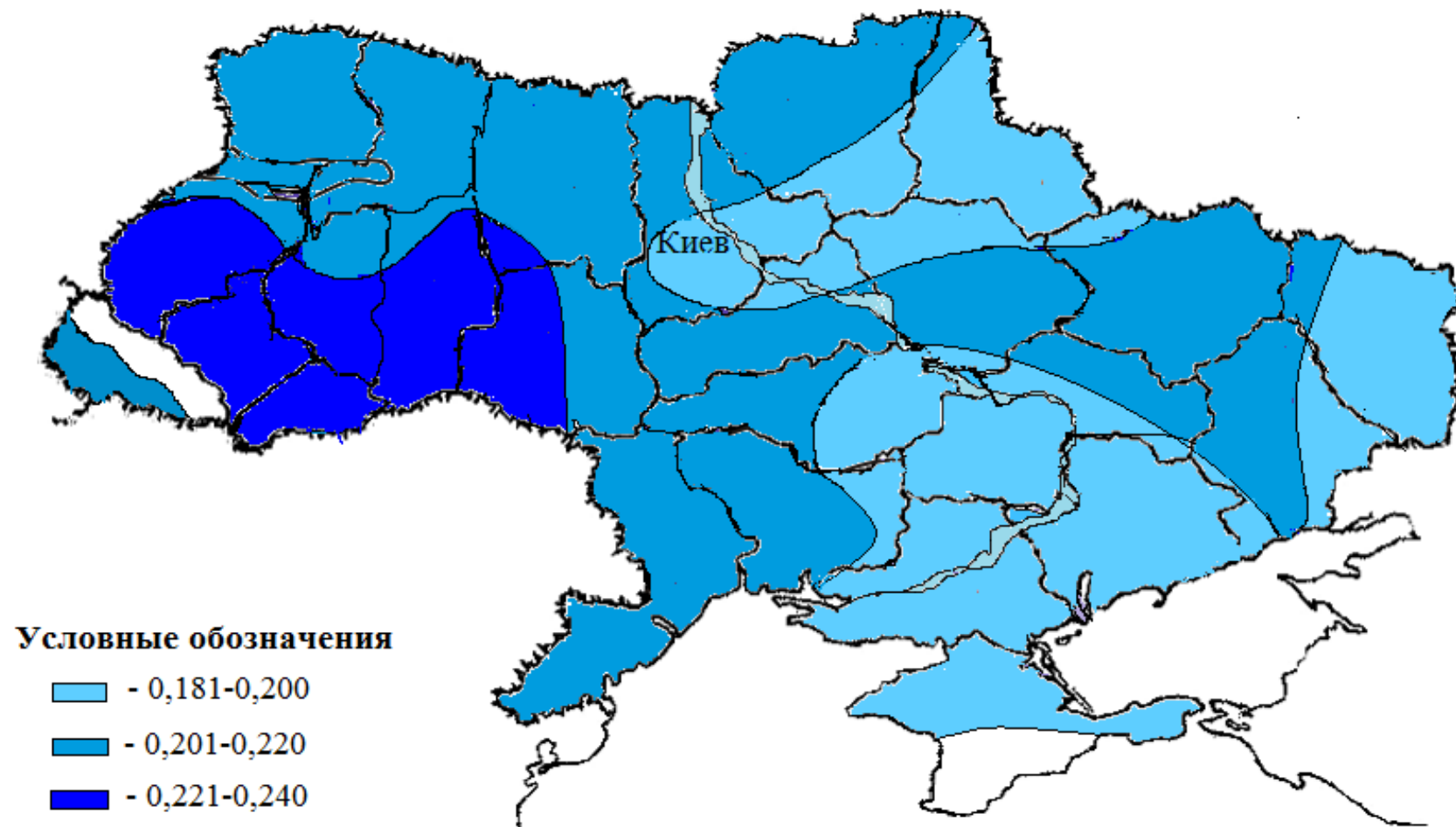


Рис. 5.6. Карто-схема распределения оценок уровня использования агроклиматических ресурсов ($K_{акл}$) сои, отн. ед.

По оценкам благоприятствия агроклиматических условий (K_m) для выращивания сои выделено три района (табл. 5.2 и рис. 5.5). Наибольшие оценки K_m наблюдаются в зоне Полесья, а также в большей части Лесостепной зоны ($K_m > 0,900$ отн.ед.) Для южных районов Лесостепи, всех областей Северной Степи и большей части Южной Степи (на богаре) значения K_m составляют 0,801-0,900 отн.ед. Наименьшие значения (менее 0,800 отн.ед.) наблюдаются в районах Южной Степи.

Для характеристики оценок уровня использования агроклиматических ресурсов ($K_{акл}$) для выращивания сои, согласно табл. 5.2, была построена карто-схема (рис. 5.6).

Из рис. 5.6 видно, что наиболее высокие оценки уровня $K_{акл}$ наблюдаются в западных и центральных районах Лесостепи, которые составляют 0,221-0,240 отн.ед. Снижение значений $K_{акл}$ до 0,201-0,220 отн.ед. наблюдается в областях Полесья, Закарпатья, части центральных районах Лесостепи, западных и большей части восточных районах Северной Степи, а также на богаре в Южной Степи. Наименьшие оценки уровня использования агроклиматических ресурсов (0,181-0,200 отн.ед.) при выращивании сои наблюдаются в северо-восточных районах Лесостепи, на востоке и на юге Украины.

5.4. Оценка влияния изменения климата и норм орошения на продуктивность сои

Тенденции изменения агроклиматических ресурсов и условий формирования продуктивности сельскохозяйственных культур рассматривались за два периода: 2011-2030 и 2031-2050 гг. Возможные изменения климата рассчитывались по сценарию A1B, реализованного в региональной климатической модели MPI-M-REMO, глобальной модели – ECHAM5-r3 [143], как наиболее вероятному до 2050 года.

Согласно [46, 47, 48] региональная модель REMO, которая использовалась для расчетов, была разработана в Институте метеорологии Макса-Планка (г. Гамбург) [139, 148]. REMO объединяет бывшую численную модель прогноза погоды EUROPA - MODELL для расчетов термодинамических характеристик и блока глобальной климатической модели ECHAM4 [148], в котором рассчитываются процессы облако- и осадкообразования, прохождение потоков солнечной радиации в атмосфере, влияние подстилающей поверхности на тепловые потоки с учетом альбедо и типа поверхности [46, 47, 48]. В данной модели используется преобразованная сферическая система координат, в которой экватор проходит через центр области моделирования для уменьшения влияния кривизны Земли на прямоугольность координатной сетки, и, так называемая, гибридная вертикальная координата, которая является комбинацией изобарической и вертикальной координаты, то есть, вертикальные уровни расположены вдоль подстилающей поверхности вблизи Земли и с высотой превращаются в параллельные изобарическим по специальным соотношениям.

В последние годы REMO достаточно успешно применялась для моделирования прошлого и будущего регионального климата не только Германии, но и других стран Европы, а также Индии, Аргентины и других стран мира [46, 47, 48, 127]. REMO была одной из ведущих в проекте оценки водного баланса бассейна Балтийского моря [139] и в отчете IPCC-2007 [128].

5.4.1. Сравнительная характеристика продуктивности сои в Херсонской области по сценарию изменения климата A1B (2011-2030 гг.)

На территории Украины выращивание сои с применением орошения производится в Степной зоне, в частности, в Херсонской области.

Численные эксперименты по расчету продуктивности сои в Херсонской области в условиях изменения климата и с применением орошения производились по восьми вариантам:

- 1) Климат (без орошения);
- 2) Климат + увеличение CO_2 на 30 %;
- 3) Климат + 3 полива с оросительной нормой (орос.н.) $1200 \text{ м}^3/\text{га}$;
- 4) Климат + увеличение CO_2 на 30 % не менее трех поливов с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$;
- 5) Климат + 4 полива с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$;
- 6) Климат + 4 полива с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ + увеличение CO_2 на 30%;
- 7) Климат + 4 полива с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$;
- 8) Климат + 4 полива с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ + увеличение CO_2 на 30%.

В рассчитанный период 2011-2030 гг. площадь листьев по первым четырем вариантам увеличивается медленно с первой до третьей декады вегетации (рис. 5.7).

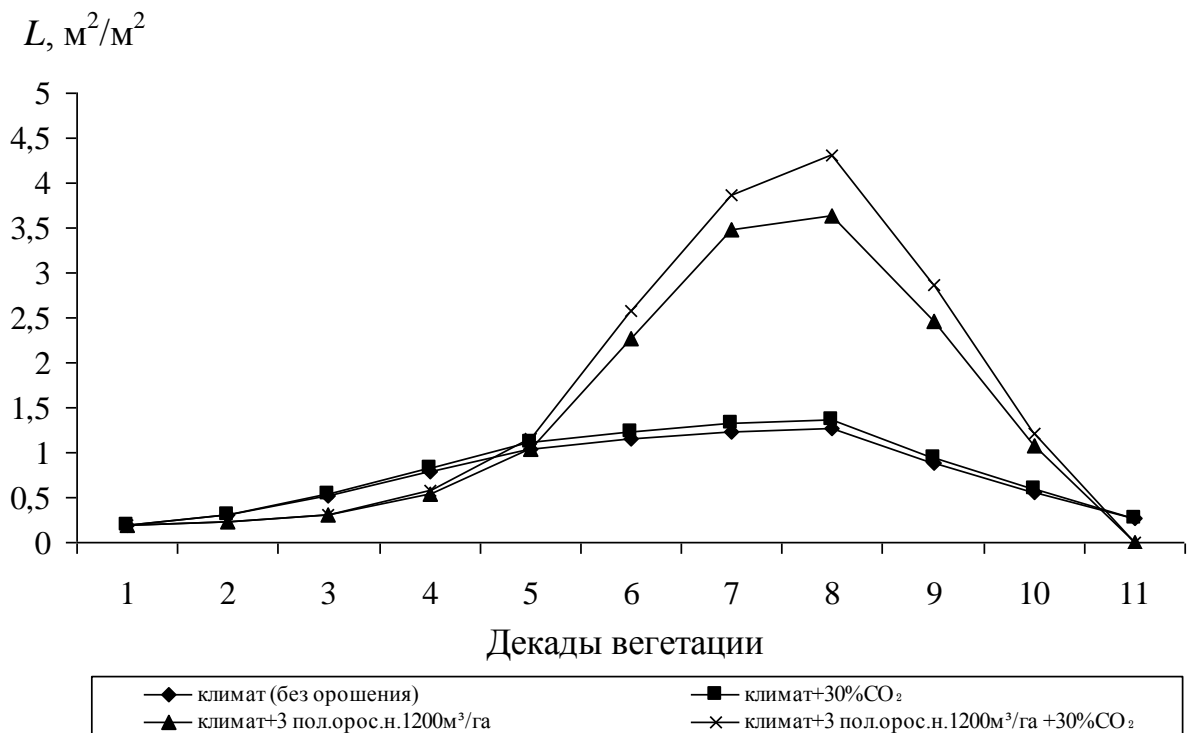


Рис. 5.7. Динамика площади листьев (L) сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2011 – 2030 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при трех поливах за вегетацию

Из рис. 5.7 видно, что в первом варианте, то есть без орошения и во втором варианте – с увеличением CO_2 на 30 %, площадь листьев увеличивается быстрее, чем в третьем и четвертом вариантах расчетов.

Максимального значения площадь листьев во всех 4-х вариантах расчетов достигает в восьмую декаду вегетации, и составляет соответственно по вариантам 1,2; 1,4; 3,6 и 4,3 $\text{м}^2/\text{м}^2$. Эти показатели говорят о том, что применение трех поливов с нормой полива $400 \text{ м}^3/\text{га}$ значительно увеличивает площадь листовой поверхности по сравнению с площадью листьев на неорошаемым полем. Особенно возрастает площадь листьев в 4-м варианте, то есть с тремя поливами по 400 м^3 с увеличением CO_2 с 380 ppm до 470 ppm (рис. 5.7).

На рис. 5.8 представлена динамика площади листьев сои, рассчитанная по 1, 2, 5, 6, 7 и 8 вариантам.

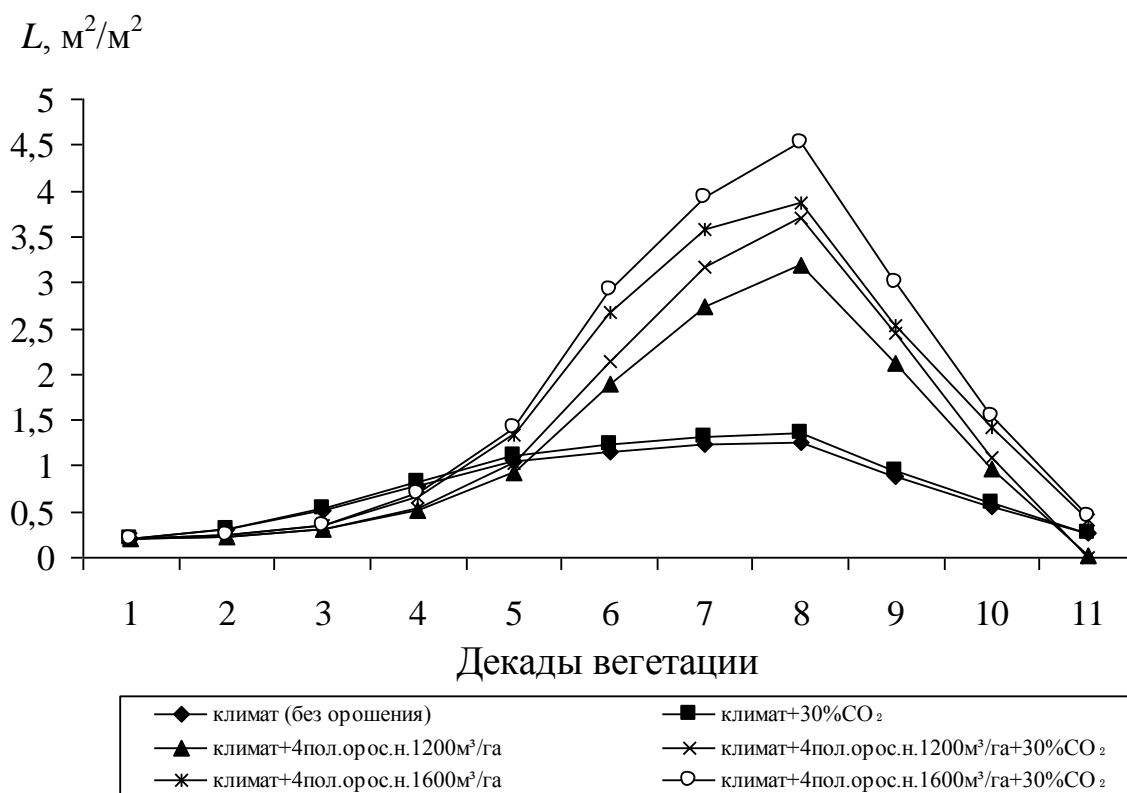


Рис. 5.8. Динамика площади листьев (L) сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2011–2030 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при четырех поливах за вегетацию

Как видно из рис. 5.8, ход динамики нарастания площади листьев сои идентичен ходу на рис. 5.7. Однако, следует отметить, что увеличение количества поливов (3-х до 4-х) при одной и той же оросительной норме $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ не способствует увеличению площади листьев, а наоборот, при трех поливах в восьмую декаду вегетации она составит $3,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при четырех поливах – $3,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то есть была ниже на $0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

При оросительной норме $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ (четыре полива по $300 \text{ м}^3/\text{га}$) площадь листьев составит $3,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При той же оросительной норме $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ четырех поливов, но с учетом увеличения CO_2 , площадь листьев составит $3,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то есть будет больше на $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

При оросительной норме $1600 \text{ м}^3/\text{га}$, с четырьмя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ площадь листьев достигнет максимального значения тоже в восьмой декаде вегетации и составит $3,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В условиях увеличения CO_2 при таких же условиях орошения, площадь листьев сои увеличится, и к восьмой декаде вегетации достигнет максимальных значений – $4,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Если сравнить площадь листьев сои при оросительной норме $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ с четырьмя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ с площадью листьев при той же оросительной норме, но в условиях увеличения CO_2 , то она в этих условиях будет больше на $0,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Если сравнить площадь листьев сои на неорошаемом поле с площадью листьев сои, которую выращивают при оросительной норме $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ при четырех поливах по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ в условиях увеличения CO_2 , то разница будет значительна и составит $3,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (рис. 5.8).

Из рис. 5.8 следует, что увеличение количества поливов до четырех с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ приводит к увеличению площади листовой поверхности по сравнению с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$.

Рассмотрим изменение сухой биомассы бобов сои в Херсонской области при выращивании без орошения и при оросительной норме $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ с тремя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ (рис. 5.9).

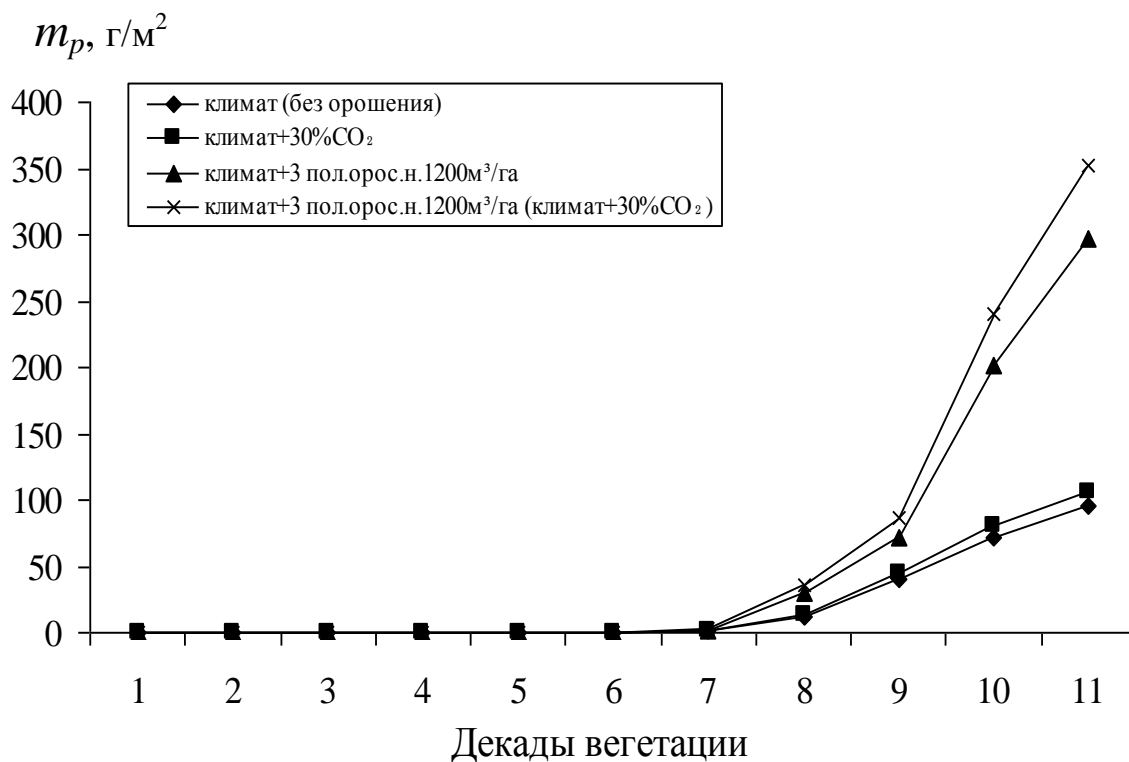


Рис. 5.9. Сухая биомасса бобов (m_p) сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2011–2030 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при трех поливах за вегетацию

В рассчитанный период 2011-2031 гг. сухая биомасса бобов по первым четырем вариантам расчетов медленно увеличивается. И начиная с седьмой декады вегетации, наблюдается увеличение сухой биомассы бобов сои. Максимальных значений она достигает в одиннадцатой декаде вегетации (рис. 5.9).

Рассмотрим немного подробнее каждый вариант. Итак, при выращивании сои на неорошаемых полях, максимальная сухая биомасса бобов сои составит 94,9 г/м². В условиях увеличения CO₂ без орошения максимальная сухая биомасса бобов сои составит 105,4 г/м². А значит максимальная сухая биомасса бобов сои в условиях увеличения CO₂ без орошения, будет больше на 10,5 г/м².

При орошении тремя поливами по 400 м³/га с оросительной нормой 1200 м³/га, максимальная сухая биомасса бобов сои будет наблюдаться в одиннадцатую декаду вегетации и составит 296,6 г/м² и в четвертом варианте

при той же оросительной норме, но в условиях увеличения CO_2 на 30%, сухая биомасса бобов сои максимальных значений также достигнет в одиннадцатую декаду вегетации и составит $352,9 \text{ г/м}^2$.

Если сравнить сухую биомассу бобов сои при оросительной норме $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ в три полива по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ с сухой биомассой бобов при той же оросительной норме, но в условиях увеличения CO_2 , то сухая биомасса бобов сои в этих условиях будет больше на $56,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При сравнении первого варианта с четвертым вариантом мы видим, что сухая биомасса бобов в четвертом варианте будет на 258 г/м^2 больше, чем в первом варианте на неорошаемом поле (рис. 5.9).

Из рис. 5.9 можно сделать вывод, что сухая биомасса бобов сои увеличится, если выращивать сою при орошении с тремя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ в условиях увеличения CO_2 .

На рис. 5.10 представлена динамика сухой биомассы бобов сои, рассчитанная в условиях выращивания сои без орошения и при четырех поливах за вегетацию, а именно по 1, 2, 5, 6, 7, 8 вариантам.

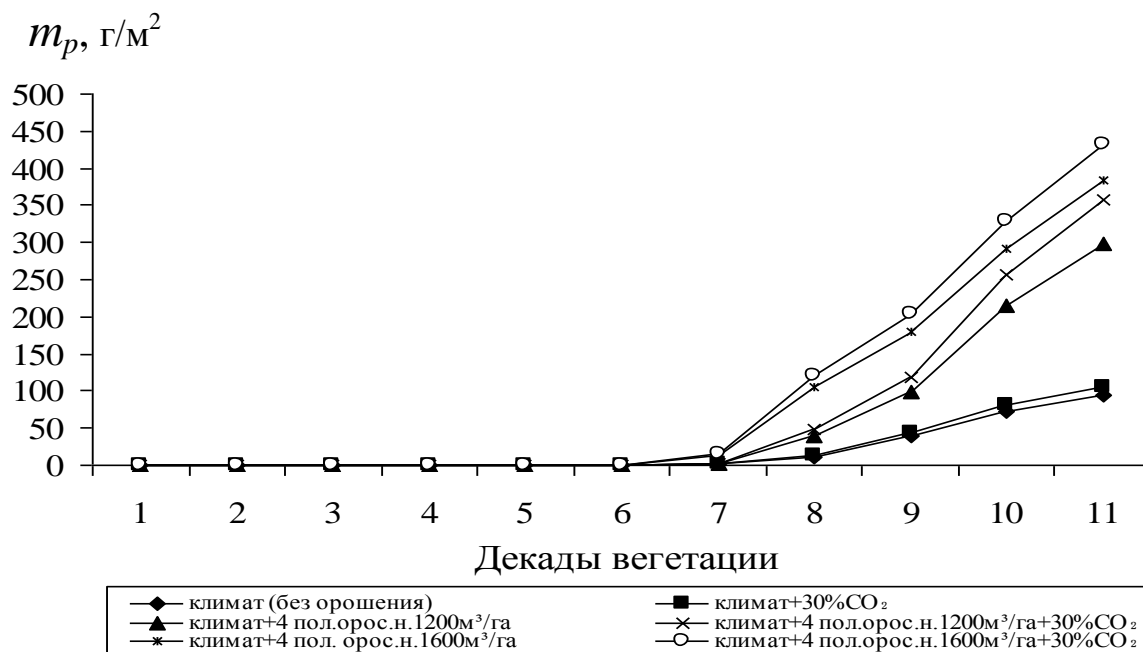


Рис. 5.10. Сухая биомасса бобов (m_p) сои в Херсонской области при сценарии изменения климата А1В (2011–2030 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при четырех поливах за вегетацию

Как видно из рис. 5.10 ход динамики нарастания сухой биомассы бобов сои идентичен ходу динамики на рис. 5.9. Максимальные значения, как при трех поливах оросительной норме $1200 \text{ м}^3/\text{га}$, так и при четырех поливах при той же оросительной норме, наблюдаются в одиннадцатой декаде вегетации и составили соответственно $296,6$ и $299,1 \text{ г}/\text{м}^2$, а различия не превышают $2,5 \text{ г}/\text{м}^2$. В условиях увеличения CO_2 на 30% при тех же нормах поливах, максимальные значения составили – $352,9$ и $356,7 \text{ г}/\text{м}^2$, а различия возрастают до $3,8 \text{ г}/\text{м}^2$. Следовательно, что при увеличении количества поливов с трех до четырех при той же оросительной норме ($1200 \text{ м}^3/\text{га}$), сухая биомасса бобов сои заметно увеличится.

Рассмотрим изменения сухой биомассы бобов сои с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ с четырьмя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ и при тех же условиях, но в условиях увеличения CO_2 на 30% . Мы видим, что с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ с четырьмя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ сухая масса бобов сои достигнет максимального значения в одиннадцатой декаде вегетации и составит $383,7 \text{ г}/\text{м}^2$. В условиях увеличения CO_2 при таких же условиях полива, сухая масса бобов сои увеличится до $430,9 \text{ г}/\text{м}^2$ достигая максимальных значений также в одиннадцатой декаде вегетации. Таким образом различия по вариантам достигают $47,2 \text{ г}/\text{м}^2$.

Если сравнить сухую биомассу бобов сои на неорошаемом поле, с сухой биомассой бобов сои, которую выращивают с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ в четыре полива по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ в условиях увеличения CO_2 , то разница будет значительна и составит $336 \text{ г}/\text{м}^2$ (рис. 5.10).

Из рис. 5.10 следует, что увеличение количества поливов до четырех с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ приводит к увеличению сухой биомассы бобов сои по сравнению с сухой биомассой бобов сои на неорошаемых полях.

Рассмотрим изменение урожая сои в Херсонской области при выращивании сои без орошения и с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ с тремя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ (рис. 5.11). В рассчитанный период 2011-2031 гг. высокий урожай сои будет наблюдаться при применении трех поливов с

нормой 400 м³/га с оросительной нормой 1200 м³/га и составит 30,1 ц/га. Особенно возрастет урожай в четвертом варианте, то есть с тремя поливами по 400 м³/га с увеличением CO₂ с 380 ppm до 470 ppm до 40,3 ц/га (рис. 5.11).

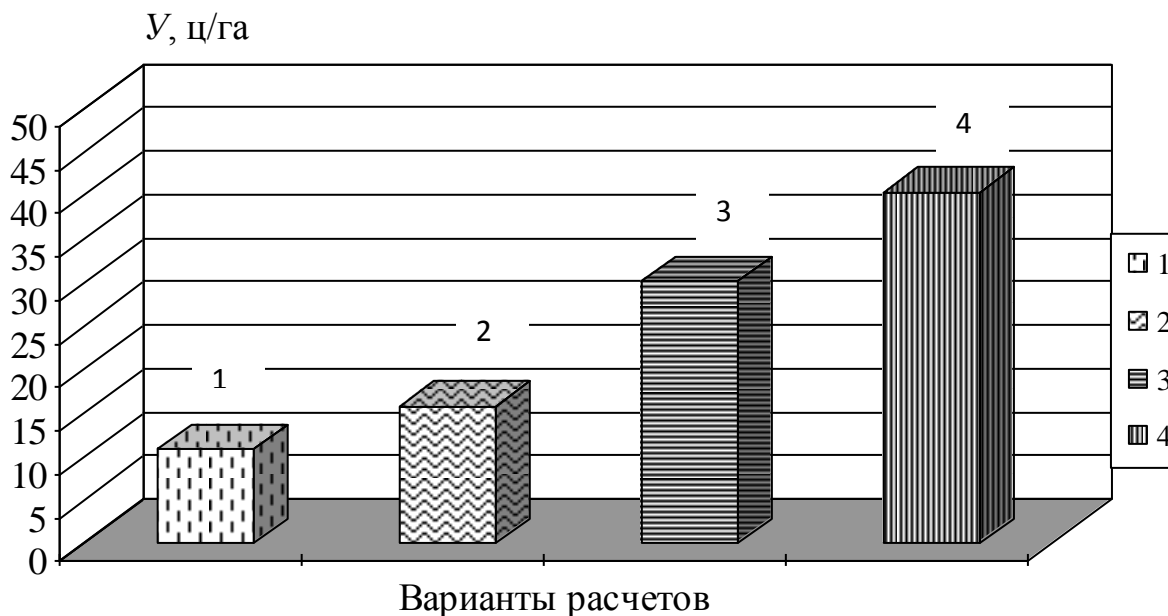


Рис. 5.11. Урожай сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата A1B (2011-2030 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при трех поливах за вегетацию:

1 – климат (без орошения); 2 – климат + 30% CO₂; 3 – климат + 3 полива орос. н 1200 м³/га; 4 – климат + 3 полива орос.н. 1200 м³/га + 30% CO₂

Рассмотрим урожай сои, полученный на неорошаемом поле и в условиях увеличения CO₂. При выращивании сои в богарных условиях урожай составит 10,8 ц/га. В условиях увеличения CO₂ на 30 %, урожай достигнет 15,7 ц/га, то есть будет больше на 4,9 ц/га по сравнению с урожаем сои полученный на неорошаемом поле.

Сравним урожай сои, которые были получены при выращивании сои на неорошаемом поле и в условиях орошения с тремя поливами по 400 м³/га оросительной нормы 1200 м³/га при увеличении CO₂, разница будет значительна и достигнет 29,5 ц/га.

При этом можно сделать вывод, что урожай сои будет значительно больше, если выращивать сою в условиях орошении с тремя поливами по

400 м³/га оросительной нормы 1200 м³/га в условиях увеличения CO₂. Снижение урожая сои будет намного ниже, если выращивать сою без орошения (рис. 5.11).

На рис. 5.12 представлено величины урожаев сои, рассчитанные при реализации сценария изменения климата А1В (2011–2030 гг.) при условии выращивания сои без орошения и при четырех поливах за вегетацию при разной оросительной норме (1200 и 1600 м³/га).

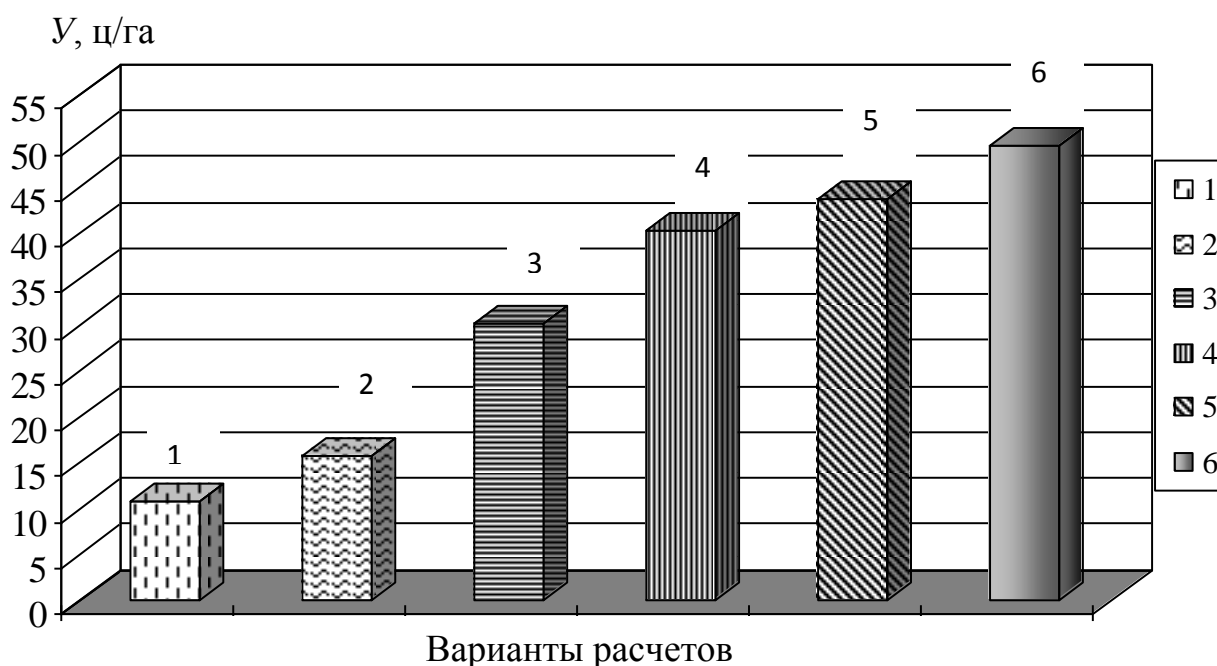


Рис. 5.12. Урожай сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2011–2030 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при четырех поливах за вегетацию:

1 – климат (без орошения); 2 – климат + 30% CO₂; 3 – климат + 4 полива орос. н. 1200 м³/га; 4 – климат + 4 полива орос.н. 1200 м³/га + 30% CO₂; 5 – климат + 4 полива орос.н. 1600 м³/га; 6 – климат + 4 полива орос.н. 1600 м³/га + 30% CO₂.

Как видно из рис. 5.12, закономерности формирования урожаев сои, идентичны рис. 5.11. Сравним урожай сои, полученный при трех поливах (рис. 5.11) и четырех поливах (рис. 5.12) при одной и той же оросительной норме 1200 м³/га. Мы видим, что при трех поливах урожай сои составил

30,1 ц/га, а при четырех поливах повысился до 34,1 ц/га, то есть увеличился на 4,0 ц/га. В условиях увеличения CO_2 на 30 % при тех же нормах поливах соответственно урожай сои будет 40,3 и 40,7 ц/га, то есть увеличится на 0,4 ц/га.

Следовательно, что при увеличении количества поливов с трех до четырех при той же оросительной норме – 1200 м³/га, урожай сои будут высокими.

Сравним урожай сои, полученные при орошении с четырьмя поливами с оросительной нормой 1200 м³/га и при той же оросительной норме, но в условиях увеличения CO_2 . Как видно из рис. 5.12, урожай сои в условиях увеличения CO_2 будет больше на 6,6 ц/га.

Рассмотрим изменения урожая сои при оросительной норме 1600 м³/га с четырьмя поливами по 400 м³/га и при тех же условиях, но в условиях увеличения CO_2 на 30 %. Мы видим, что при четырех поливах с нормой орошения 1600 м³/га урожай сои составит 43,7 ц/га. В условиях увеличения CO_2 при таких же условиях полива, урожай сои достигнет максимальных значений и составит 49,5 ц/га, что больше на 5,8 ц/га (рис. 5.12).

Сравним урожай сои полученный на неорошаемом поле и урожай сои, который выращивают при четырех поливах по 400 м³/га (оросительная норма 1600 м³/га). Разница будет значительна и составит 32,9 ц/га.

Урожай сои на неорошаемом поле в условиях увеличения CO_2 и при оросительной норме 1600 м³/га в четыре полива по 400 м³/га, в условиях увеличения CO_2 , то различия достигают большая и составит 33,8 ц/га (рис. 5.12).

Из рис. 5.12 следует, что увеличение количества поливов до четырех с оросительной нормой 1600 м³/га приведет к увеличению урожая сои. Снижение урожая сои будет наблюдаться при выращивании сои на неорошаемых полях.

5.4.2. Сравнительная характеристика продуктивности сои в Херсонской области по сценарию изменения климата А1В (2031-2050 гг.)

Нами рассматривался также сценарий изменения климата А1В в период 2031-2050 гг. Аналогично были проведены численные эксперименты по расчету продуктивности сои в Херсонской области в условиях изменения климата (увеличение уровня CO_2 от 380 ppm до 520 ppm) и с применением орошения. Расчеты производились также по восьми вариантам:

- 1) Климат (без орошения);
- 2) Климат + увеличение CO_2 на 30 %;
- 3) Климат + 3 полива с оросительной нормой (орос.н.) $1200 \text{ м}^3/\text{га}$;
- 4) Климат + увеличение CO_2 на 30 % + менее 3 поливов с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$;
- 5) Климат + 4 полива с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$;
- 6) Климат + 4 полива с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ + увеличение CO_2 на 30%;
- 7) Климат + 4 полива с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$;
- 8) Климат + 4 полива с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ + увеличение CO_2 на 30%.

На рис. 5.13 представлена динамика площади листьев сои при реализации сценария изменения климата А1В в период 2031-2050 гг. в условиях произрастания сои без орошения и при трех поливах за вегетацию, которая была рассчитанная по первым четырем вариантам расчетов.

Как видно из рис. 5.13, площадь листьев сои с первой до третьей декады вегетации увеличивается медленно. Однако в первом варианте (без орошения) и во втором варианте (без орошении, но с увеличением CO_2), площадь листьев увеличивается быстрее и в третью декаду вегетации составила соответственно $0,4-0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а в третьем и в четвертом варианте расчетов в эту же декаду, площадь листьев составила $0,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$. И только с пятой декады вегетации с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ при трех поливах и при таком же орошении,

но с учетом увеличения CO_2 , наблюдается быстрое увеличение площади листьев.

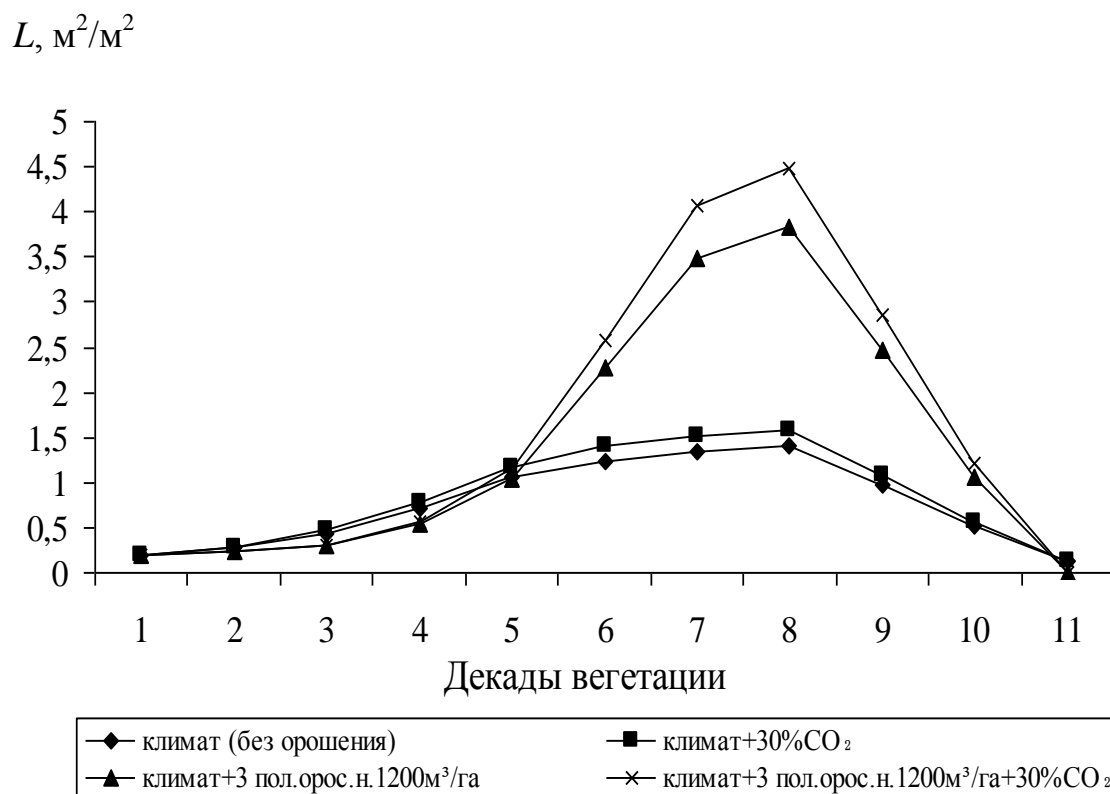


Рис. 5.13. Динамика площади листьев сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2031–2050 гг.) в условиях выращивания без орошения и при трех поливах за вегетацию

Максимального значения площадь листьев во всех 4-х вариантах расчетов достигает в восьмую декаду вегетации, и составляет соответственно по вариантам: 1,4; 1,6; 3,8 и 4,5 $\text{м}^2/\text{м}^2$ (рис.5.13).

Из рис. 5.14 следует, что при применении трех поливов с нормой полива 400 $\text{м}^3/\text{га}$ значительно увеличивается площадь листовой поверхности по сравнению с неорошаемым полем. Особенно возрастает площадь листьев с тремя поливами по 400 $\text{м}^3/\text{га}$ в условиях увеличения CO_2 с 380 ppm до 520 ppm.

Рассмотрим динамику изменения площади листьев сои в условиях выращивания без орошения и при четырех поливах за вегетацию, рассчитанная по 1, 2, 5, 6, 7 и 8 вариантам (рис. 5.14).

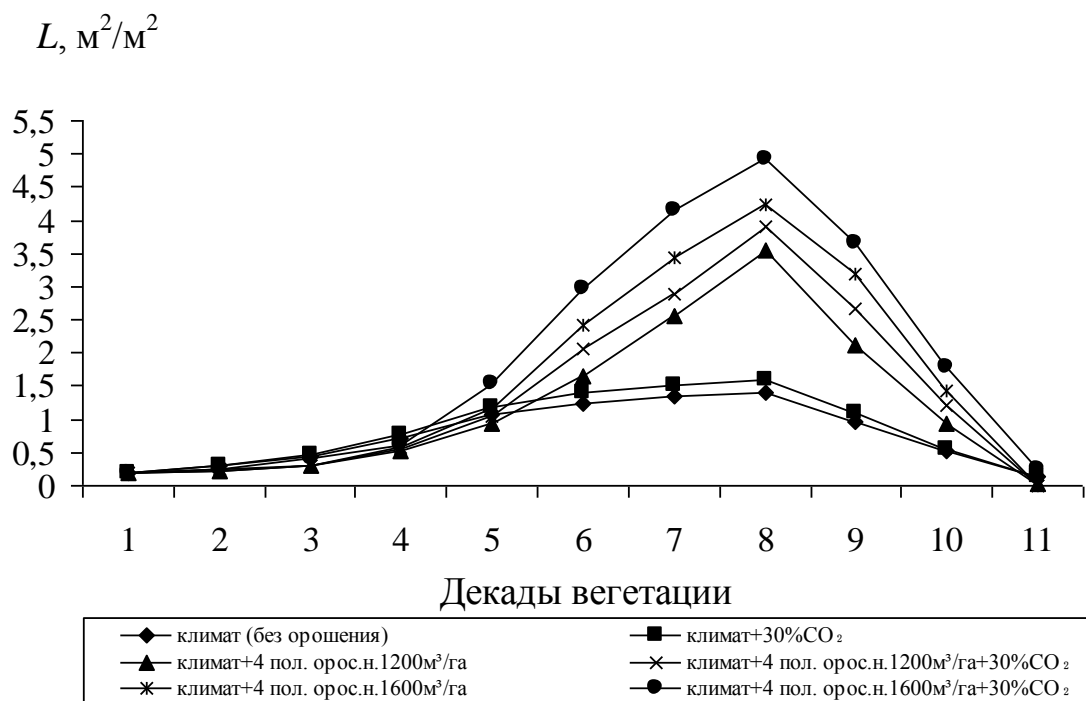


Рис. 5.14. Динамика площади листьев сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2031–2050 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при 4-х поливах за вегетацию

Как видно из рис. 5.14, ход динамики нарастания площади листьев сои идентичен ходу на рис. 5.13. Однако, следует отметить, что увеличение количества поливов (4-х, а не 3-х), при одной и той же оросительной норме 1200 м³/га, не способствует увеличению площади листьев, а наоборот, уменьшается, так при трех поливах в восьмую декаду вегетации она составит 3,8 м²/м² (рис. 5.13), при четырех поливах – 3,6 м²/м² (рис. 5.14), то есть была ниже на 0,2 м²/м².

Максимального значения площадь листьев сои во всех вышеуказанных вариантах расчетов достигнет в восьмую декаду вегетации. Так при оросительной норме 1200 м³/га в четыре полива по 300 м³/га площадь листьев составит 3,6 м²/м², при той же оросительной норме, но с учетом увеличения CO₂ площадь листьев составит 4,0 м²/м², то есть будет больше на 0,4 м²/м².

Рассмотрим изменение площади листьев при четырех поливах с оросительной нормой 1600 м³/га и при увеличении CO₂. Как видно из рис. 5.14

площадь листьев при этих двух вариантов достигнет максимального значения в восьмой декаде вегетации и составит 4,2 и 4,9 м²/м² соответственно.

Если сравнить площадь листьев сои при оросительной нормы 1600 м³/га в четыре полива по 400 м³/га с площадью листьев при той же оросительной норме, но в условиях увеличения СО₂, то площадь листьев сои в этих условиях будет больше на 0,7 м²/м². Если сравнить площадь листьев сои на неорошаемом поле, с площадью листьев сои, которую выращивают при оросительной норме 1600 м³ в четыре полива по 400 м³ в условиях увеличения СО₂, то разница будет значительна и составит 3,5 м²/м² (рис. 5.14).

Из рис. 5.14 следует, что увеличение количества поливов до четырех с оросительной нормой 1600 м³/га приводит к увеличению площади листовой поверхности по сравнению с оросительной нормой 1200 м³/га.

Также были выполнены численные эксперименты по изменению сухой биомассы бобов сои в Херсонской области в условиях выращивания сои без орошения и при трех поливах за вегетацию.

На рис. 5.15 представлена динамика сухой биомассы бобов сои, рассчитанная по первым четырем вариантам расчетов.

Из рисунка видно, что в рассчитанный период с 2031-2050 гг. сухая биомасса бобов медленно увеличивается. И только с седьмой декады вегетации, наблюдается увеличение сухой биомассы бобов сои. Однако при первом и втором варианте расчета увеличение биомассы наблюдается очень медленно и составляет всего 0,2 г/м². Зато при третьем и четвертом варианте расчета, а именно при трех поливах с оросительной нормой 1200 м³/га и с учетом увеличения СО₂, биомасса бобов сои резко возрастает и составляет соответственно 2,0 и 2,4 г/м². Максимального значения сухая биомасса бобов сои во всех четырех вариантах расчетов достигает в одиннадцатую декаду вегетации, и составляет соответственно по вариантам: 102,3; 120,3; 296,8 и 353,5 г/м².

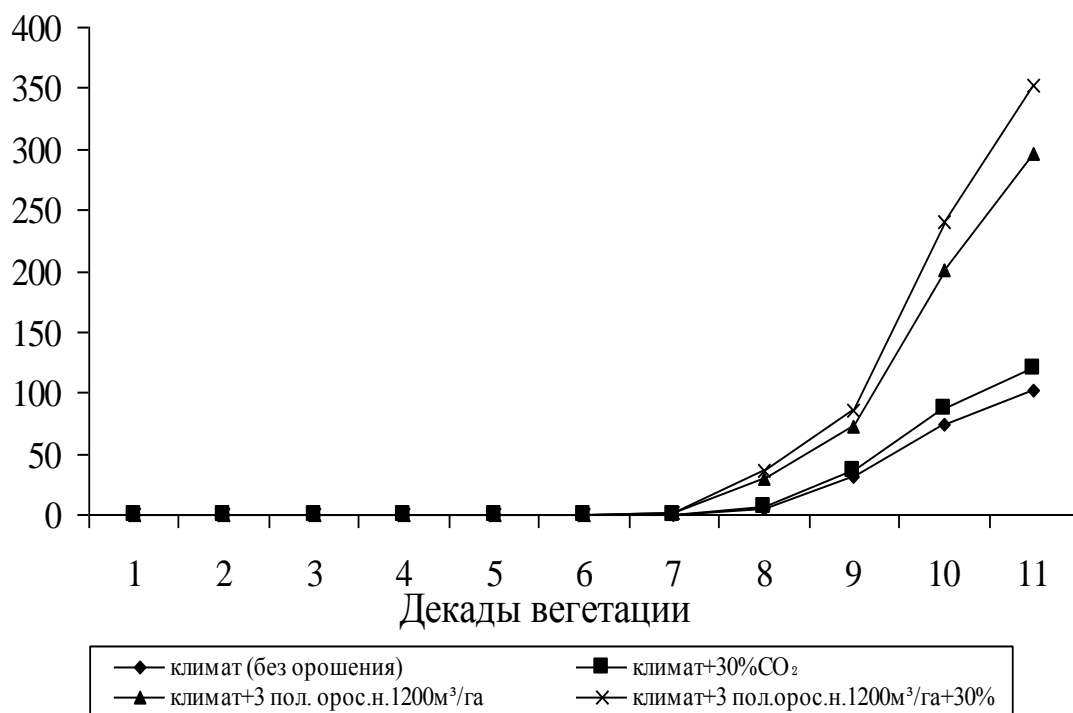
$m_p, \text{г/м}^2$


Рис. 5.15. Сухая биомасса бобов сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2031–2050 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при 3-х поливах за вегетацию

Исходя из выше указанного, можно сделать следующие выводы. При сравнении первого варианта, то есть выращивания сои без орошения, со вторым вариантом, то есть выращивании сои в тех же условиях, но с учетом увеличения CO_2 , сухая биомасса бобов сои увеличится на 18 г/м^2 . При сравнении третьего варианта (три полива с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ за вегетацию) с четвертым вариантом (при той же оросительной нормой, но с учетом увеличения CO_2 на 30 %), сухая биомасса бобов сои увеличится на $56,7 \text{ г/м}^2$. И если сравнить первый вариант расчетов с четвертым мы видим, что сухая биомасса бобов сои в четвертом варианте расчетов, будет на $251,2 \text{ г/м}^2$ больше, чем если выращивать сою без орошения (рис. 5.15).

Из рис. 5.15 следует, что сухая биомасса бобов сои увеличится, если

выращивать сою при орошении с тремя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$, в условиях увеличения CO_2 .

Рассмотрим динамику сухой биомассы бобов сои, в условиях выращивания сои без орошения и при четырех поливах за вегетационный период с разной оросительной нормой (рис. 5.16).

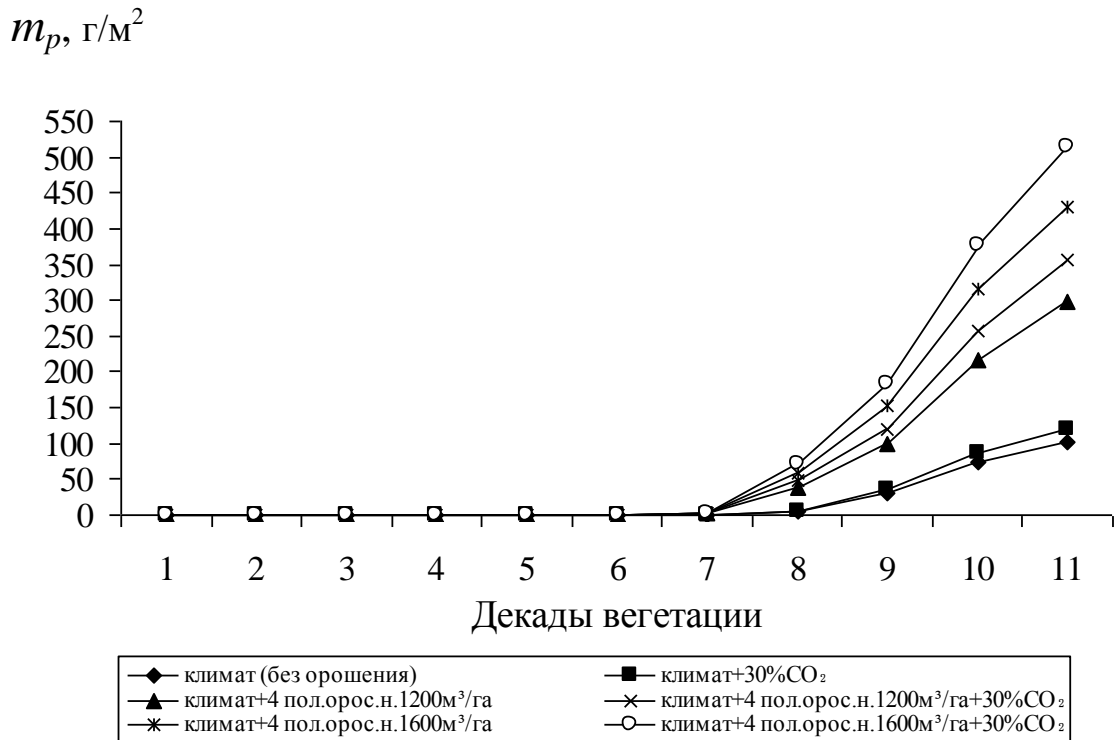


Рис. 5.16. Сухая биомасса бобов сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2031–2050 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при 4 поливах за вегетацию

Как видно из рис. 5.16 ход динамики нарастания сухой биомассы бобов сои идентичен ходу динамики на рис. 5.15. Из рисунка видно, что в рассчитанный период 2031-2050 гг. сухая биомасса бобов медленно увеличивается. И только с седьмой декады вегетации, наблюдается увеличение сухой биомассы бобов сои. В первом и во втором варианте расчета сухая биомасса бобов равна $0,2 \text{ г/м}^2$, как и на предыдущем рисунке. Однако в последующих вариантах расчета (при четырех поливах за вегетационный

период с разной оросительной нормой) биомасса бобов сои резко возрастает и составляет соответственно 299,5; 356,9; 431,3 и 515,4 г/м².

Максимальные значения, как при трех поливах оросительной норме 1200 м³/га, так и при четырех поливах при той же оросительной норме, будут наблюдаться в одиннадцатой декаде вегетации и составят соответственно 296,8 и 299,5 г/м², то есть больше на 2,7 г/м². В условиях увеличения CO₂ на 30 % при тех же нормах поливах, максимальные значения будут наблюдаться также в одиннадцатой декаде и составят – 353,5 и 356,9 г/м², то есть больше на 3,4 г/м². Следовательно, что при увеличении количества поливов с трех до четырех при той же оросительной норме 1200 м³/га, сухая биомасса бобов сои заметно увеличится.

Рассмотрим изменения сухой биомассы бобов сои по 7 и 8 варианту расчетов, то есть при четырех поливах по 400 м³/га с оросительной нормой 1600 м³/га и при тех же условиях, но в условиях увеличения CO₂ на 30 %. Максимальных значений сухая биомасса будет наблюдаться в одиннадцатой декаде вегетации. Так, при оросительной норме 1600 м³/га с четырьмя поливами по 400 м³ сухая биомасса бобов сои составит 431,3 г/м². В условиях увеличения CO₂ при таких же условиях полива, сухая биомасса бобов сои увеличится до 515,4 г/м², а это больше на 84,1 г/м² (рис. 5.16).

Исходя из выше указанного, можно сделать следующие выводы. При сравнении выращивания сои без орошения, с четырьмя поливами за вегетацию с оросительной нормой 1600 м³/га, видно, что сухая биомасса бобов сои увеличится на 329 г/м². При сравнении выращивания сои без орошения, в условиях увеличения CO₂ с четырьмя поливами по 400 м³ с оросительной нормой 1600 м³/га с учетом увеличения CO₂, видно, что сухая биомасса бобов сои увеличится на 395,1 г/м². И наконец, если сравнить сухую биомассу бобов сои на неорошаемом поле, с сухой биомассой бобов сои, которую выращивают при оросительной норме 1600 м³/га в четыре полива по 400 м³/га в условиях увеличения CO₂, то разница будет значительная и составит 412,9 г/м² (рис. 5.16).

Из рис. 5.16 следует, что увеличение количества поливов до четырех с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ в условиях увеличения CO_2 приведет к увеличению сухой биомассы бобов сои по сравнению с сухой биомассой бобов сои полученной в богарных условиях.

На основе выполненных расчетов были также рассмотрены изменения урожая сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2031–2050 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при трех поливах за вегетацию.

На рис. 5.17 представлен урожай сои, рассчитанный по первым четырем вариантам расчетов (без орошения и при трех поливах за вегетацию).

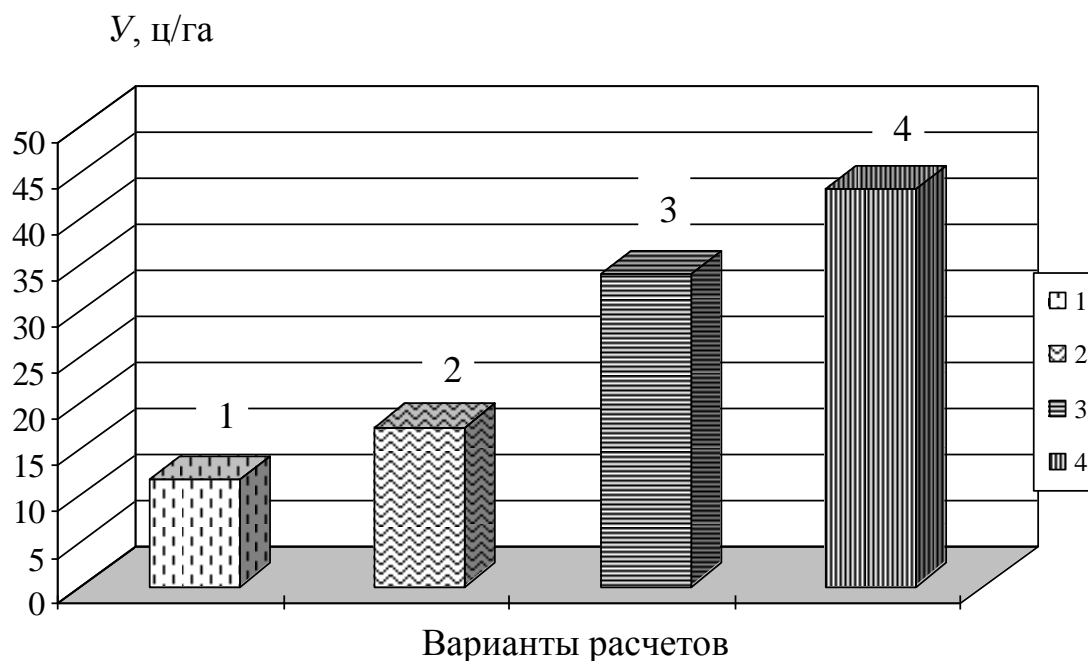


Рис. 5.17. Урожай сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2031–2050 гг.) в условиях выращивания сои без орошения и при трех поливах за вегетацию:

1 – климат (без орошения); 2 – климат + 30% CO_2 ; 3 – климат + 3 полива орос. н $1200 \text{ м}^3/\text{га}$; 4 – климат + 3 полива орос.н. $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ + 30% CO_2 .

Рассмотрим урожай сои полученный на неорошаемом поле и в условиях увеличения CO_2 . При выращивании сои без орошения урожай составит

11,7 ц/га. В условиях увеличения уровня CO_2 на 30 %, урожай достигнет 17,3 ц/га, то есть будет больше на 5,6 ц/га по сравнению с урожаем сои полученный на богаре.

Урожай сои полученный при трех поливах с оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ составит 33,9 ц/га, а в случае увеличения концентрации CO_2 на 30 %, урожай при тех же нормах полива составит 43,2 ц/га, то есть увеличится на 9,3 ц/га.

Сравним урожай сои, который был получен при выращивании сои на неорошаемом поле, с урожаем сои, который был получен в условиях орошения с тремя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ оросительной нормы $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ при увеличении концентрации CO_2 разница будет значительна и достигнет 31,5 ц/га.

При этом можно сделать вывод, что урожай сои будет значительно больше, если выращивать сою в условиях орошения с тремя поливами по $400 \text{ м}^3/\text{га}$ оросительной нормы $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ в условиях увеличения концентрации CO_2 . На неорошаемом поле урожай сои будет намного ниже (рис. 5.17).

Рассмотрим урожай сои, рассчитанные по 1, 2, 5, 6, 7 и 8 вариантам расчета, а именно при реализации сценария изменения климата A1B (2031-2050 гг.). На рис. 5.18 представлен урожай сои, который был получен в условиях выращивания культуры без орошения и при четырех поливах за вегетационный период с разной оросительной нормой (1200 и $1600 \text{ м}^3/\text{га}$).

Как видно из рис. 5.18, урожай сои идентичен ходу на рис. 5.17. Сравним урожай сои полученный при трех поливах и при четырех поливах (рис. 5.18) с одной и той же оросительной нормой $1200 \text{ м}^3/\text{га}$. Мы видим, что при трех поливах урожай сои составит 33,9 ц/га, а при четырех поливах повысится до 34,4 ц/га, то есть увеличится на 0,5 ц/га. В условиях увеличения CO_2 на 30 % при тех же нормах поливах урожай сои будет соответственно 43,2 ц/га и 43,7 ц/га, то есть увеличится на 0,5 ц/га.

Следовательно, что при увеличении количества поливов с трех до четырех при той же оросительной норме ($1200 \text{ м}^3/\text{га}$), урожай сои будет высоким.

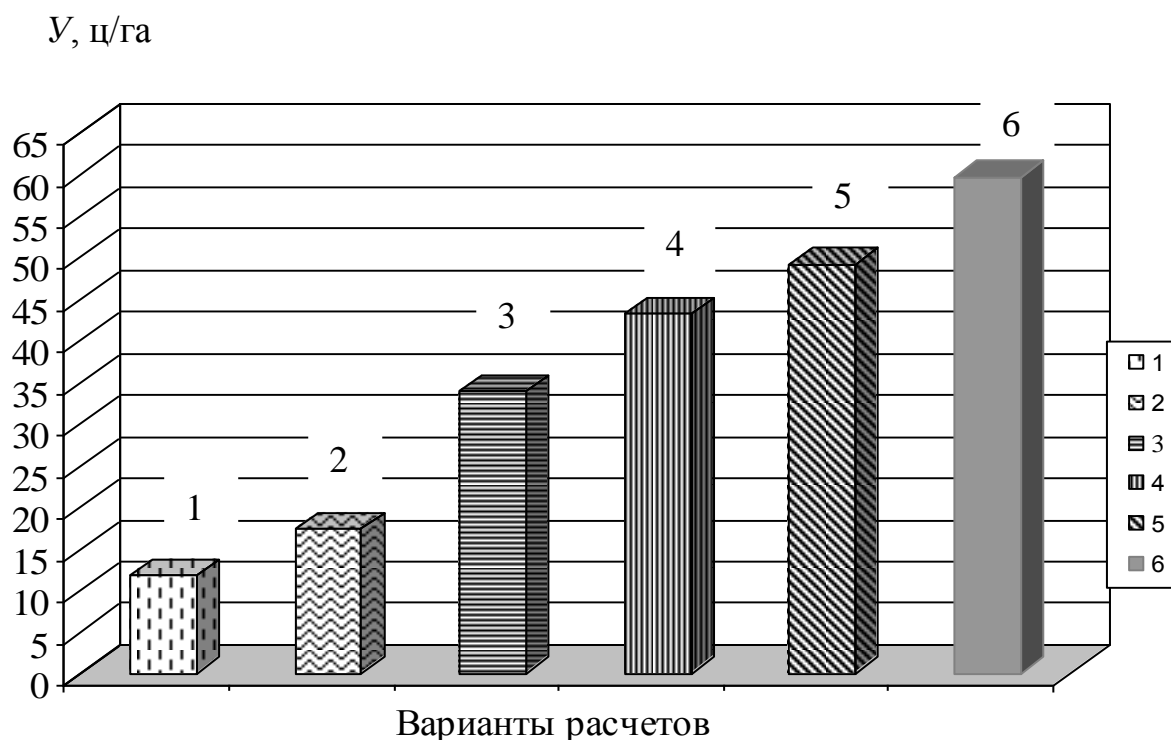


Рис. 5.18. Урожай сои в Херсонской области при реализации сценария изменения климата А1В (2031–2050 гг.) в условиях выращивания без орошения и при четырех поливах за вегетацию:

1 – климат (без орошения); 2 – климат + 30% CO₂; 3 – климат + 4 полива орос. н 1200 м³/га; 4 – климат + 4 полива орос.н. 1200 м³/га + 30% CO₂; 5 – климат + 4 полива орос.н. 1600 м³/га; 6 – климат + 4 полива орос.н. 1600 м³/га + 30% CO₂.

Сравним урожай сои полученных при орошении с четырьмя поливами с оросительной нормой 1200 м³/га с урожаем сои, который был получен при той же оросительной норме, но в условиях увеличения CO₂. Как видно из рис. 5.18, урожай сои в условиях увеличения CO₂ будет больше на 9,3 ц/га.

Рассмотрим изменения урожая сои при оросительной норме 1600 м³/га с четырьмя поливами по 400 м³/га и при тех же условиях, но в условиях увеличения CO₂ на 30 %. Мы видим, что при четырех поливах с нормой орошения 1600 м³/га урожай сои составит 49,2 ц/га. В условиях увеличения CO₂ при таких же условиях полива, урожай достигнет максимальных значений и составит 59,6 ц/га, а это больше на 10,4 ц/га.

Сравним урожай сои полученный на неорошаемом поле и урожай сои, который получают при четырех поливах по 400 м³/га оросительной нормой 1600 м³/га, то разница будет значительна и составит 37,5 ц/га. При сравнении урожая сои на неорошаемом поле в условиях увеличения CO₂ с урожаем сои, который получают при оросительной норме 1600 м³/га в четыре полива по 400 м³/га, в условиях увеличения CO₂, то разница большая и составит 42,3 ц/га (рис. 5.18).

Таким образом, увеличение количества поливов до четырех с оросительной нормой 1600 м³/га в условиях изменения климата и увеличении концентрации CO₂ в атмосфере, приведет к увеличению урожая сои, по сравнению с урожаем, который будет получен в богарных условиях.

ВЫВОДЫ К РАЗДЕЛУ 5

В пятом разделе на основе моделирования продуктивного процесса сои выполнена оценка уровней агроэкологических категорий урожайности и получена всесторонняя оценка агроклиматических условий выращивания этой культуры, а также впервые получена оценка влияния изменения климата и норм орошения на продуктивность сои в Херсонской области. Для каждой из административных областей Украины на основе средних многолетних метеорологических и агрометеорологических данных, а также с использованием информации о внесении органических и минеральных удобрений, были выполнены расчеты с помощью модели, описанной в разделе 4. В результате расчетов получена ежедекадная и усредненная информация об агроклиматических условиях формирования четырех рассмотренных агроэкологических категорий урожайности за вегетационный период.

Дана оценка продуктивности агроклиматических ресурсов в разрезе почвенно-климатических зон Украины в виде всех агроэкологических

категорий урожайности применительно к сое. Построены карто-схемы пространственного распределения агроэкологических уровней урожайности и выделены районы с наиболее высокими и низкими уровнями *ПУ*, *МВУ*, *ДВУ*, *УПР*. Так распределение потенциального урожая (*ПУ*) зерна сои на территории Украины неоднородное. Наименьшие значения *ПУ* наблюдаются в богарных условиях восточной части Северной Степи. Наибольший урожай *ПУ* наблюдается в орошаемых районах Южной Степи.

Идентично распределению *ПУ* наблюдается распределение метеорологически-возможного урожая (*МВУ*). Наименьшие значения *МВУ* наблюдаются в восточной части Северной Степи. Значение *МВУ* уменьшаются в направлении с востока на запад по всей территории, а максимальные значения – на орошаемых землях Южной Степи. Колебания *МВУ* во всех районах Украины незначительны.

Наименьшие урожаи действительно-возможного урожая (*ДВУ*) наблюдаются в богарных условиях восточной части Северной Степи и южных районах Южной Степи. Наибольший урожай *ДВУ* наблюдается в орошаемых районах Южной Степи.

Значение урожая в производстве (*УПР*) зерна сои изменяется в пределах от < 8 ц/га до $> 20,1$ ц/га. Самые низкие значения *УПР* сои наблюдаются в восточных районах Северной Степи, а самые высокие урожаи – на орошаемых землях Южной Степи.

Рассчитаны обобщенные характеристики и дана комплексная оценка агроклиматическим ресурсам Украины, которая состоит из двух оценок: K_m - степень благоприятствия агроклиматических условий выращивания сои; $K_{акл}$ – степень эффективности использования агроклиматических ресурсов.

Установлено, что наиболее благоприятствующие агроклиматические условия для выращивания сои складываются в Полесье и в большей части Лесостепной зоны (более 0,900 отн.ед), а менее благоприятные – в районах Южной Степи (менее 0,800 отн.ед).

Коэффициент, который характеризует уровень использования агроклиматических ресурсов, изменяется в пределах 0,181-0,240 отн.ед. Построены карто-схемы комплексных оценок агроклиматических условий формирования продуктивности сои.

На основе численных экспериментов и модели формирования продуктивности сои дана оценка влиянию изменения климата на продуктивность сои в Херсонской области при разных нормах вегетационных поливов, рассчитанных за сценарием А1В, одним из наиболее вероятных для Украины. При этом рассматривались несколько вариантов, отдельно для периодов 2011-2030 и 2031-2050 гг.

Проанализировав все варианты, можно сказать, что в рассчитанный период 2011-2030 гг., площадь листьев, сухая биомасса бобов и урожай сои будет больше при увеличении количества поливов до четырех с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ и составит соответственно $3,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $383,7 \text{ г}/\text{м}^2$; $43,7 \text{ ц}/\text{га}$, а при увеличении CO_2 на 30 % (с 380 ppm до 470 ppm) будет еще выше и составит соответственно $4,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $430,9 \text{ г}/\text{м}^2$; $49,5 \text{ ц}/\text{га}$.

Аналогичная ситуация будет наблюдаться во второй сценарный период А1В (2031-2050 гг.), но с большими абсолютными величинами. Были рассмотрены те же варианты, но в условиях увеличения CO_2 на 30 % (с 380 ppm до 520 ppm). Выявлено, что при оросительной норме $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ фотосинтетическая продуктивность сои возрастет, следовательно урожай сои вырастит до $49,2 \text{ ц}/\text{га}$, а с увеличением CO_2 на 30 % – $59,6 \text{ ц}/\text{га}$.

ВЫВОДЫ

Диссертационная работа является законченным научным исследованием, в котором была выполнена оценка агроклиматических условий возделывания сои в Украине и фотосинтетической продуктивности сои при орошении в условиях изменения климата. В результате выполненного диссертационного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Выполнен анализ современного состояния исследований биологии культуры сои и агротехники ее выращивания на территории Украины. Приведена характеристика современных сортов сои, которые районированы на территории Украины.

2. Исследовано экспериментально влияние агрометеорологических условий на фотосинтетическую продуктивность сои и формирование ее урожайности в 2009 и 2010 годах. Установлено, что оптимальные условия для возделывании сои сложились в 2010 году при среднедекадной температуре 24,3 °С, запасах продуктивной влаги в метровом слое 140 мм. Прирост биомассы сои достигал 232 г/м²·дек, максимальная площадь листовой поверхности наблюдалась в фазу массового цветения и составила 4,7 м²/м², максимальная чистая продуктивность – 5,9 г/м²·сутки, а максимальный фотосинтетический потенциал отмечается в фазу образования бобов сои.

3. Модифицирована и адаптирована базовая модель оценки агроклиматических ресурсов применительно культуре сои. В модель включено два новых блока – блок орошения и блок созревания семян. Проведена идентификация параметров модели применительно к культуре сои и проверка ее адекватности путем сопоставления рассчитанной величины хозяйственной урожайности с урожайностью, полученной на уровне хозяйств. Средняя ошибка расчета урожая зерна составляет 17 %, что является вполне удовлетворительной для выполнения прикладных расчетов.

4. Исследовано с помощью модели влияние агрометеорологических условий на динамику приростов агроэкологических категорий урожайности под

влиянием радиационного, теплового и водного режимов для четырёх агроклиматических зон: Полесья, Лесостепи, Северной Степи, Южной Степи. Выявлено, что максимальные приросты потенциального урожая ($\Delta ПУ$) по зонам составили: 232,7; 228,6; 243,7 и 257,4 г/м²·дек при сумме ФАР 11,9; 11,8; 13,2 и 14,0 кДж/см²·дек.

Максимальный прирост метеорологически-возможного ($\Delta МВУ$) и действительно-возможного ($\Delta ДВУ$) урожаев достигали по зонам 202,2; 210,7; 197,6; 180,2 и 124,4; 128,1; 120,6; 115,3 г/м²·дек соответственно. Приросты урожая в производстве ($\Delta УПП$) соответственно составили 41,8; 43,4; 39,9 и 37,3 г/м²·дек.

5. Выявлено, что максимальные различия между приростами $\Delta ПУ$ и $\Delta МВУ$ отмечались в зоне Южной Степи (77,2 г/м²·дек), а минимальные – в зоне Лесостепи (17,9 г/м²·дек). Максимальные различия между приростом $\Delta МВУ$ и приростом $\Delta ДВУ$ составляли в зоне Лесостепи - 82,6 г/м²·дек, а минимальные в зоне Южной Степи – 77,0 г/м²·дек.

6. Осуществлены расчеты суммарных агроэкологических категорий урожайности сои и составлены карто-схемы и пространственного распределения. По величине изменчивости потенциального урожая выделено пять агроклиматических районов, урожай изменяется от ≤ 40 до >130 ц/га.

По изменчивости метеорологически-возможного и действительно-возможного урожая на территории Украины также выделено по пять агроклиматических районов. В первом районе эти величины соответственно составляют ≤ 40 и ≤ 30 ц/га, а в пятом районе – >100 и > 60 ц/га.

По величине урожая в производстве выделено также пять районов, урожай изменяется от $\leq 8,0$ до $>20,0$ ц/га.

В пятый агроклиматический район входят земли Южной Степи, где все агроэкологические категории урожайности рассчитываются при условии орошения. Выявлено, что на этих землях, все категории урожая пропорционально выше.

7. Рассчитаны комплексные оценки степени благоприятствия агроклиматических условий для получения высоких урожаев сои и уровень использования агроклиматических ресурсов территории Украины, выраженные в относительных единицах. Наиболее высокая степень благоприятствия (K_m) наблюдается в Полесье и в большей части Лесостепной зоны (более 0,900), а низкая – в районах Южной Степи (менее 0,800). Наиболее высокий уровень использования агроклиматических ресурсов ($K_{акл}$) для выращивания культуры сои наблюдаются в западных и в центральных районах Лесостепи (0,221-0,240), а наименьшие – в северо-восточных, восточных и южных областях (0,181-0,200).

По значениям комплексных оценок агроклиматических условий построены карто-схемы.

8. Выполнена оценка влияния изменений климата и норм орошения на продуктивность сои в Херсонской области за сценарием А1В, реализованного в региональной климатической модели MPI-M-REMO, который является одним из наиболее вероятных для Украины. При этом рассматривались несколько вариантов отдельно для периодов 2011-2030 и 2031-2050 гг. Исследовались изменения основных показателей фотосинтетической продуктивности: площадь листьев, сухая биомасса бобов и урожайность культуры.

Установлено, что в первый сценарный период А1В (2011 – 2030 гг.) площадь листьев, сухая биомасса бобов и урожай сои при варианте изменения климата без орошения составит $1,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $94,9 \text{ г}/\text{м}^2$; $10,8 \text{ ц}/\text{га}$, а с учетом четырех поливов с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ они будут увеличиваться в 3-4 раза и составят соответственно $3,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $383,7 \text{ г}/\text{м}^2$; $43,7 \text{ ц}/\text{га}$. При увеличении концентрации CO_2 на 30 % (с 380 ppm до 470 ppm) эти показатели увеличатся равно как и при изменении климата без орошения ($1,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $105,4 \text{ г}/\text{м}^2$; $15,7 \text{ ц}/\text{га}$), так и при четырех поливах с оросительной нормой $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ ($4,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $430,9 \text{ г}/\text{м}^2$; $49,5 \text{ ц}/\text{га}$). Во второй сценарный период (2031 – 2050 гг.) отмечается такая же закономерность, но с большими абсолютными величинами. Были рассмотрены те же варианты оросительных

норм, но в условиях увеличения CO_2 на 30 % с 380 ppm до 520 ppm. Выявлено, что при оросительной норме $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ возрастает фотосинтетическая продуктивность сои. Площадь листьев, сухая биомасса бобов и урожай сои будут увеличиваться соответственно на $0,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $47,6 \text{ г}/\text{м}^2$; $5,5 \text{ ц}/\text{га}$ относительно периода 2011-2030 гг.

Урожай в данный сценарный период вырастит до $49,2 \text{ ц}/\text{га}$, а с увеличением CO_2 на 30 % – $59,6 \text{ ц}/\text{га}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абашина Е.В. Прикладная динамическая модель формирования урожая для имитационных систем агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства / Е.В. Абашина, О.Д. Сиротенко // Труды ВНИИСХ. – 1986. – Вып. 21. – С. 13-33.
2. Абашина Е.В. Динамическая модель погода – урожай, учитывающая азотное питание растений. – В кн.: Кругооборот и баланс азота в системе почва – растение – атмосфера / Е.В. Абашина, О.Д. Сиротенко, А.Г. Просвиркина. – М.: Наука. – 1979. – С. 172-180.
3. Агроклиматический атлас Украинской ССР / Под ред. С.А. Сапожниковой. – Киев: Урожай. – 1964. – 36 с.
4. Агрокліматичний довідник по території України (середні обласні показники 1986-2005 рр.) / За ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенко. – Кам'янець – Подільський: – 2011. – 108с.
5. Агрокліматичний довідник по Херсонській області: (1986 – 2005 рр). / М-во надзвичайних ситуацій України; Херсон. обл. центр з гідрометеорології; за ред. С.І. Мельничука, Т.І. Адаменко. – Одеса: Астропринт. – 2011. – 208 с.
6. Агрокліматичний довідник по Одеській області: (1986 – 2005 рр). / М-во надзвичайних ситуацій України; Гідрометеорологічний центр Чорного та Азовського морів; за ред. В.М. Ситова, Т.І. Адаменко. – Одеса: Астропринт. – 2011. – 204 с.
7. Алпатьев А.М. Влагодоборот культурних рослин / А.М. Алпатьев. – Л.: Гидрометеоздат. – 1954. – 248 с.
8. Арабаджиев С.Д. Соя / С.Д. Арабаджиев, А. Ваташка, К. Горанова. – М.: Колос. – 1981. – 197 с.
9. Бабич А.О. Стратегічна роль сої у розв'язанні глобальної продовольчої проблеми / А.О. Бабич, А.О. Бабич-Побережна // Корми і виробництво. – 2011. – Вип. 69. – С. 11-19.

10. Бабич А.О. Світові та вітчизняні тенденції розміщення виробництва і використання сої для розв'язання проблеми білка / А.О. Бабич, А.О. Бабич-Побережна // Корми і виробництво. – 2012. – Вип. 71. – С. 12-26.
11. Баранов В.Ф. Соя. Биология и технология возделывания / В.Ф. Баранов, В. М. Лукомец. – Краснодар. – 2009. – 321 с.
12. Бескамерный способ изучения фотосинтеза: Методическое указание. – Л.: 1974. – 18 с.
13. Бихеле З.Н. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги / З.Н. Бихеле, Х.А. Молдау, Ю.К. Росс. – Л.: Гидрометеиздат. – 1980. – 223 с.
14. Бондаренко Н.Ф. Моделирование продуктивности агроэкосистем / Н.Ф. Бондаренко, Е.Е. Жуковский, И.Г. Мушкин, С.В. Нерпин, Р.А. Полуэктов, И.Б. Усков. – Л.: Гидрометеиздат. – 1982. – 264 с.
15. Брежнев А.И. Некоторые принципы построения прикладных динамических моделей продуктивности полевых культур / А.И. Брежнев, В.Д. Алешин // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1982. – Вип. 7 (310). – С. 116-121.
16. Брукс К. Применение статистических методов в метеорологии / К. Брукс, Н. Карузертс. – Л.: Гидрометеиздат. – 1963. – 408 с.
17. Будаговский А.И. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов / А.И. Будаговский, Ю.К. Росс // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. – М.: Наука. – 1966. – С. 51-58.
18. Вавилов П.П. Растениеводство / П.П. Вавилов, В.В. Грищенко, В.С. Кузнецов. – М.: Колос. – 1979. – С. 396-410.
19. Вавилов П.П. Растениеводство / П.П. Вавилов. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 124 с.
20. Вериго С.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве / С.А. Вериго, Л.А. Разумова. – Л.: Гидрометеиздат. – 1963. – 288 с.
21. Витченко А.Н. Методика агроэкологической оценки сельскохозяйственной продуктивности ландшафтов Белоруссии / А.Н. Витченко, А.Н. Полевой //

- Вестник Белорусского университета. Сер. 2. химия, биология, география. – 1986. – Вып. 2. – С. 56-59.
22. Вишнякова М.А. Горох, бобы, фасоль / М.А. Вишнякова, И.И. Яньков, С.В. Булынец. - Санкт-Петербург: Диамант, Агропромиздат. – 2001. – 221 с.
23. Гольцберг И.А. Агроклиматическое районирование территории административных областей / И.А. Гольцберг // Труды ГГО. – 1969 – Вып. 248. – С. 4-11.
24. Горбачев Т.А. Соя на полях Крыма / Т.А. Горбачев // Масличные культуры. – М.: Агропромиздат. – 1986. – Вып. 6. – С. 3-7.
25. Дмитренко В.П. О моделях расчета урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических факторов / В.П. Дмитренко // Метеорология и гидрология . – 1971. – Вып. 5. – С. 84-91.
26. Дмитренко В.П. Современное направление исследований и методологические аспекты и проблемы урожайности (модели типа погода-урожай) / В.П. Дмитренко // Труды УкрНИГМИ. – 1978. – Вып. 164. – С. 33-48.
27. Довідник з агрокліматичних ресурсів України. Агromетеологічні умови росту та розвитку основних сільськогосподарських культур. Серія 2. – Київ: МСП. – 1993. – Часть 2. – 718 с.
28. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
29. Енкен В.Б. Соя / В.Б. Енкин. – М.: Гос. из-во с.-х. лит. – 1959. – 622 с.
30. Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи / П.М. Жуковский. – Ленинград: Колос. – 1964. – 752 с.
31. Жуков В.А. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов / В.А. Жуков, А.Н. Полевой, А.И. Витченко, С.А. Даниелов. – Л.: Гидрометеоздат. – 1989. – 207 с.
32. Заверюхин В.И. Производство и использование сои / В.И. Заверюхин, И.Л. Левандовский. – К.: Урожай. – 1988. – 112 с.
33. Зінченко О.І. Рослиництво / О.І. Зінченко, В.Н. Саламатин, М.А. Білоножко. – Київ: Аграрна Освіта. – 2001 – С. 297-317.

34. Иванов А.Ф. Кормопроизводство / А.Ф. Иванов, В.И. Чурзин, В.И. Филин. – М: Колос. – 1996. – 400с.
35. Кабанець В.М. Особливості технології вирощування сої в ранньовесняний період для умов північно-східного Лісостепу України. Науково-практичні рекомендації / В.М. Кабанець, М.Г. Собко, В.І. Нагорний. – Суми: Сад. – 2012. – 20 с.
36. Калиберта К.П. Соя при орошении / К.П. Калиберта, П.Е. Рубанов, В.И. Руденко. – М.: Россельхозиздат. – 1980. – 68 с.
37. Калмыкова В.В. О методике наблюдений в системе гидрометслужбы за фазами развития сои / В.В. Калмыкова // Труды ДВНИГМИ, 1961. – Вып. 12. – С. 69-74.
38. Калмыкова В.В. О влиянии продолжительности дня на изменение требовательности сои к теплу / В.В. Калмыкова // Труды ДВНИГМИ, 1961. – Вып. 12. – С. 75-82.
39. Калмыкова В.В. Влияние термических условий на урожай сои в Приморском крае / В.В. Калмыкова // Труды ДВНИГМИ, 1970. – Вып. 33. – С. 21-29.
40. Кашманов А.А. Свет и развитие растений / А.А. Кашманов. – М.: Сельхозиздат. – 1963. – 623 с.
41. Кереев К.Н. Биологические основы растениеводства / К.Н. Кереев. – М.: Высшая школа. – 1982. – 408 с.
42. Колосков П.И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование / П.И. Колосков. – Л.: Гидрометеиздат. – 1971. – 328 с.
43. Корсаков Н.И. Труды по прикладной ботанике / Н.И. Корсаков // Генетика и селекция. – 1971. – Вып. 2. – 301 с.
44. Кошкин Е.И. Частная физиология полевых культур / Е.И. Кошкин. – М.: Колос. – 2005. – 126 с.
45. Краткий агроклиматический справочник Украины. / Под ред. К.Т. Логвинова. – Л.: Гидрометеиздат. – 1976. – 256 с.

46. Краковская С.В. Региональная модель (РЕМО) в изучении сильных осадков в Карпатах / С.В. Краковская, Л.В. Паламарчук, Г.А. Дюкель // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – С. 75-80.
47. Краковська С.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (РЕМО) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961-1990 гг. / С.В. Краковська, Л.В. Паламарчук, І.П. Шедеменко, Г.О. Дюкель, Н.В. Гнатюк // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2008. – Вип. 257. – С. 42-60.
48. Краковська С.В. Моделі загальної циркуляції атмосфери та океанів у прогнозування змін регіонального клімату України в ХХІ ст. / С.В. Краковська, Л.В. Паламарчук, І.П. Шедеменко, Г.О. Дюкель, Н.В. Гнатюк // Геофизический журнал. – 2011. – Вып. 6. – Т. 33. – С. 67-81.
49. Кулик М.С. Сборник метеорологических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий / М.С. Кулик, В.А. Моисейчик. – Л.: Гидрометеиздат. – 1957. – 93 с.
50. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений / Ф.М. Куперман. – М.: Высшая школа. – 1984. – 230 с.
51. Лавриненко Г.Т. Соя / Г.Т. Лавриненко и др. – М.: Россельхозиздат. – 1978. – 189 с.
52. Лещенко А.К. Культура сої на Україні. – К.: Вид-во Української академії сільськогосподарських наук. – 1962. – 325 с.
53. Лещенко А.К. Культура сои / А.К. Лещенко – К.: Наукова думка. – 1978. – 236 с.
54. Лещенко А.К. Соя (генетика, селекція, семеноводство) / А.К. Лещенко, В.И. Сичкарь, В.Ф. Марьюшкин. – К.: Наук. думка. – 1987. – 256 с.
55. Ляшенко Г.В. Агроклиматическая оценка продуктивности сельскохозяйственных культур в Украине / Г.В. Ляшенко. – Одесса: ННЦ «ИВиВ им. В.Е. Таирова». – 2011. – 249 с.

56. Ляшенко Г.В. Практикум з агрокліматології. Навчальний посібник / Г.В. Ляшенко. – Одеса: ТЕС. – 2014. – 150 с.
57. Методические указания по определению листовой поверхности сельскохозяйственных культур. – Омск: СХИ. – 1967. – 42 с.
58. Михайлов В.Г. Соя - универсальная культура / В.Г. Михайлов – Киев: Урожай. – 1982. – 87 с.
59. Мищенко З.А. Агроклиматология / З.А. Мищенко. – К.: КТН. – 2009. – 512 с.
60. Мищенко З.А. Методика агроклиматической оценки и среднемасштабного районирования территорий на основе продуктивности сельскохозяйственных культур / З.А. Мищенко. // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 8. – С. 87–98.
61. Мякушко Ю.П. Соя / Ю.П. Мякушко, В.Ф. Баранов. – М.: Колос. – 1984. – 332с.
62. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам / Под ред. И.Г. Грингофа и др. – Л.: Гидрометеиздат. – 1985. – Вып. 3. – Ч. I. – 300 с.
63. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам / Под ред. И.Г. Грингофа и др. - Л.: Гидрометиздат. – 1985. – Вып. 11 – Ч. II. – 316 с.
64. Ничипорович А.А. О путях повышения продуктивности фотосинтеза растений в посевах / А.А. Ничипорович. – М.: АН СССР. – 1963. – С. 5-36.
65. Ничипорович А.А. Энергетическая эффективность фотосинтеза и продуктивность растений / А.А. Ничипорович. – Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1979. – 37 с.
66. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев / А.А. Ничипорович. – М.: Изд. АН СССР. – 1956. – С. 22.
67. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович, Л.Е. Строгонова, С.Н. Чмора, М.П. Власова. – М.: Изд-во АН СССР. – 1961. – 136 с.
68. Огурцов Є.М. Соя у східному Лісостепу України: Монографія / Є.М. Огурцов. – Харків. – 2008. – 270 с.

69. Петибская В.С. Соя - качество, использование, производство / В.С. Петибская, В.Ф. Баранов, А.В. Качегуро. – Москва. –2001. – 60.
70. Подольский А.С. Новое в фенологическом прогнозировании / А.С. Подольский. - М.: Колос. – 1967. – 232 с.
71. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія / А.М.Польовий – Одеса: ТЕС. – 2012. – 629 с.
72. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур / А.Н. Полевой – Л.: Гидрометеиздат. – 1983. – 175 с.
73. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / А.Н. Полевой. – Л.: Гидрометеиздат. – 1988. – 319 с.
74. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем / А.М. Польовий – К.: КНТ. – 2007. – 348 с.
75. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур / А.Н. Полевой // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2004. – Вип. 48. – С. 195-205.
76. Польовий А.М. Методи експериментальних досліджень в агрометеорології: Навчальний посібник / А.М. Польовий. – Одеса: ТЕС. – 2003. – 246 с.
77. Польовий А.М. Моделювання продуктивності агроєкосистем //Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2005. – Вип. 1. – С. 79-86.
78. Полевой А. Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа C_3 и C_4 при изменении концентрации CO_2 в атмосфере. //В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – М.: ИГКЭ. – 2010. – Т. XXIII. – С. 297-315.
79. Полевой А.Н. Влияние агрометеорологических условий на фотосинтетическую продуктивность посевов сои / А.Н. Полевой, А.В. Толмачева // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. –Вип. 15. – С. 111-116.

80. Полевой А.Н. Моделирование динамики приростов агроэкологических параметров урожайности сои в степной зоне Украины / А.Н. Полевой, А.В. Толмачева // Весці БДПУ . – 2015. – Серія 3. – Вип. 1 – С. 41- 45.
81. Почвы Украины и повышение их плодородия. / Под ред. Н.И. Полупан. – Киев: Урожай.– 1988. – Т. 1.– 294 с.
82. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР. – М.: Колос. – 1975. – 256 с.
83. Росс Ю.К. К математическому описанию роста растений / Ю.К. Росс. – ДАН АН СССР. – 1966. – № 2. – С. 481 – 483.
84. Росс Ю. К. Система уравнений для количественного роста растений //В кн.: Фитоактинометрические исследования растительного покрова. – Таллин: Валгус. – 1967. – С.64–88.
85. Росс Ю.К. Радиационный режим и агротектоника растительного покрова / Ю.К. Росс. – Л.: Гидрометеодзат. – 1975. – 314 с.
86. Сабинин Д.А. Физиология развития растений / Д.А. Сабинин. – М.: Изд-во АН СССР. – 1963. – 195 с.
87. Сальников В.К. Возделывание сои в США / В.К. Сальников. – М.: ВНИИТЭИ. – 1972. – 48 с.
88. Сапожникова С.А. Опыт агроклиматического районирования территории СССР / С.А. Сапожникова // Вопросы агроклиматического районирования СССР. – М.: Изд-во МСХ СССР. – 1958. – С. 14-37.
89. Сверлова Л.И. Сельскохозяйственная оценка продуктивности климата Восточной Сибири, Дальнего Востока и трассы БАМ для ранних яровых культур / Л.И. Сверлова. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1980. – 183 с.
90. Селянинов Г.Т. Климатическое районирование СССР для сельскохозяйственных целей / Г.Т. Селянинов. // Памяти академика Л.С. Берга. – М.-Л.: Наука. – 1955. – С.187-225.
91. Серебрякова Т.И. Морфогенез побегов и эволюция жизненных форм злаков / Т.И. Серебрякова. – М.: Наука. – 1971. – 358 с.

92. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации / С.И. Сивков. — Л.: Гидрометеиздат. — 1961. — 227 с.
93. Сигаева Е.С. Соя / Е. С. Сигаева. — М.: Колос. — 1981. — 198 с.
94. Сеницына Н.И. Агроклиматология / Н.И. Сеницына, И.А. Гольцберг, Э.А. Струнников — Л.: Гидрометеиздат. — 1973. — 344с.
95. Синнот Э. Морфогенез растений / Э. Синнот. — М.: Изд-во ин. лит-ры. — 1963. — 603 с.
96. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем / О.Д. Сиротенко. — Л.: Гидрометеиздат. — 1981. — 168 с.
97. Сичкарь В.П. Реакция сортов сои на короткий фотопериод / В.П. Сичкарь, В.В. Хангильдан // С-х биология. — 1983. — № 5. — С. 64-68.
98. Сичкарь В.П. Современные методы возделывания и переработки сои для увеличения производства растительного белка / В.П. Сичкарь, В.В. Шерстобитов. — Методические рекомендации. — Одесса: СГИ-НАЦ СЕИС. — 2006. — 70 с.
99. Соя: біологія, производство, использование / Под ред. Г. Сингха. — Киев: Издательский дом «Зерно». — 2014. — 656 с.
100. Справочник по климату СССР // Температура воздуха и почвы. — Л.: Гидрометеиздат. — 1967. — Вып. 10. — Ч. 2. — 607 с.
101. Справочник по климату СССР. Атмосферные осадки. Снежный покров. — Л.: Гидрометеиздат. — 1969. — Вып. 10. — Ч. 4. — 696 с.
102. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза / И.А. Тарчевский. — М.: Высшая школа. — 1977. — 256 с.
103. Толмачева А.В. Влияние агрометеорологических условий на рост и развитие сои в период посев-всходы / А.В. Толмачева // Вісник Одеського державного екологічного університету. — 2010. — Вип. 10. — С. 143-149.
104. Толмачева А.В. Влияние агрометеорологических условий на произрастание культуры сои / А.В. Толмачева // Вісник Одеського державного екологічного університету. — 2013. — Вип. 15. — С. 89-94.

105. Толмачева А.В. Оценка динамики приростов агроэкологических категорий урожайности сои / А.В. Толмачева // Вісник Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова. Сер. Географічні та геологічні науки. – 2014. – Том 19. – Вип. 4(23). – С. 87-97.
106. Толмачева А.В. Влияние факторов внешней среды на динамику биомассы растений сои в центральной части Северо-Западного Причерноморья / А.В. Толмачева // Наук. зб. Фізична географія та геоморфологія. – Київ – 2015. – Вип. 1(77). – С. 158-166.
107. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х.Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеиздат. – 1977. – 200 с.
108. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов / Х.Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеиздат. – 1984. – 264 с.
109. Тур Н.С. Агроэкологические основы возделывания сои / Н.С. Тур, А.А. Загорулько. – Краснодар: МГАУ. – 1994. – 444 с.
110. Туров Н.С. Физиология сельскохозяйственных растений / Н.С. Туров.– М.: Московский университет. – 1970. – Т.VI. – 137 с.
111. Уланова Е.С. Агротеморологические условия и урожайность озимой пшеницы / Е.С. Уланова. – Л.: Гидрометеиздат. – 1975. – 302 с.
112. Физиология сельскохозяйственных культур. – М.: Московский университет. – Том. 6. – 1970.– 654 с.
113. Харченко С.И. Гидрология осушаемых растений / С.И. Харченко. – Л.: Гидрометеиздат. – 1968. – 248 с.
114. Чехов А.В. Олійні культури України / А.В. Чехов. – К.: Основа. – 2007. – С. 175-219.
115. Шатилов И.С. Фотосинтетический потенциал и урожай зерновых культур / И.С. Шатилов, Г.В. Чановская, А.Г. Замаараев. // Изд-во ТСХА. – 1979. – Вып. 10. – С. 18-30.
116. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д.И. Шашко. – Л.: Гидрометеиздат.– 1985. – 247 с.

117. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР / Д.И. Шашко. – М.: Колос, 1967. – 334 с.
118. Шевелуха В.С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе / В.С. Шевелуха. – М.: Колос. – 1992. – 598 с.
119. Шпаар Д. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар, Ф Элмер, А. Постников. – Минск: ФУ Аинформ. – 2000. – 264 с.
120. Allen E.M. Validation of corn and soybean models in Iowa: Implications for precision farming / E.M. Allen, W.D. Batchelor, T.S. Colvin. – Am. Soc. of Agric. – ASAE. – St. Joseph. - 1996 – P. 96-106.
121. Acock B. Photosynthesis and energy conversion / B. Acock, J.H.M. Thornley, J. Warren Wilson // In: Potential Crop Production Ed. P.F. Wareing and J.P.cooper. – 1971. – P. 7-21.
122. Acock B. The Soybean Crop Simulator, GLYCIM: Documentation for the Modular Version / B. Acock, A. Trent // Department of Plant, Soil and Entomological Sciences, University of Idaho. – Moscow: Idaho. – 1991. – 242 p.
123. Boote K.J. Modeling genetic yield potential. Physiology and Determination of Crop Yield / K.J. Boote, M. Tollenaar. – ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. – 1994. – P. 533-565.
124. Boote K.J. Simulation of crop growth: CROPGRO model / K.J. Boote, J.W. Jones, G. Hoogenboom // Agricultural Systems Modeling and Simulation. – New York: Marcel Dekker. – 1998. – P. 1-42.
125. Bunce J.A. Mutual shading and the photosynthetic capacity at exposed leaves of field grown soybeans / J.A. Bunce // Photosynthesis Res. – 1976. – P. 75-83.
126. Carbone, G.J. Evaluating CROPGRO–SOYBEAN performance for use in climate impact studies. / G.J. Carbone, L.O. Mearns, T. Mavromatis, J. Sadler, D. Stooksbury // Agronomy Journal. – 2003. – № 95. – P. 537-544.
127. Cardoso A.O. Use of Climate Forecasts to Soybean Yield Estimates. / A.O. Cardoso, Ana -Maria H. Avila, H. S. Pinto, E. D. Assad // Soybean Physiology and Biochemistry. – 2002. – P. 37-50.

128. Christensen J.H. The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC / J.H. Christensen, B. Hewitson, A. Busuioc and other // Cambridge University Press. – Cambridge, United Kingdom and New York, USA. – 2007. – 94 pp.
129. Curry R.B. Responses of soybean to predicted climate change in the USA / R.B. Curry, J.W. Jones, K.J. Boote, R.M. Peart, L.H. Allen // ASA Special Publication, American Society of Agronomy. – Madison. – 1995. – № 59. – P. 163–181.
130. Dencescu S. Cultura soia / S. Dencescu, E. Micles, A. Butica. – Illinois. – 1982. – 227 p.
131. Denner M. T. Optimum soybean cultivars for possible expansion area: a modelling approach / M.T. Denner, A.T. James, M. J. Robertson, S. Fukai // Proceedings 10th Australian Soybean Conference. – Brisbane. – 1998. – P.137-141.
132. Dixon B.L. Estimating Corn Yield Response Models to Predict Impacts of Climate Change / B.L. Dixon, S.E. Hollinger, P. Garcia, V. Tirupattur // Journal of Agricultural and Resource Economics. – 1994. – № 19. – P.58-68.
133. Eyli D.B. Rate of accumulation of dry weight in seed of soybeans and its relationship to yield / D.B. Eyli // Can. J. Plant sci. – 1975. – P. 216-219.
134. Egli D.B. Effect of soybean seed vigor and size of seedling growth / D.B. Egli, D.M. TeKrony, R.A. Wilavaga // J. Seed Technol. – 1990. – P. 1-12.
135. Egli D.B. Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO / D.B. Egli, W. Bruening // Agricultural and Forest Meteorology. – 1992. – № 62. – P. 19-29.
136. Haskett J.D. Estimation of soybean yields at county and state levels using GLYCIM: a case study for Iowa / J.D. Haskett, Y.A. Pachepsky, B. Acock, Agronomy Journal. – 1995. – № 87 (5). – P. 926-931.
137. Holaday A.S. Photosynthetic/photorespiratory characteristics of C₃-C₄ intermediate species. Photosynth / A.S. Holaday, R. Chollet . – 1984. – P. 307-323.

138. Hoogenboom G. Modeling growth, development, and legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO. / G. Hoogenboom, J.W. Jones, K.J. Boote. – Trans. ASAE. 1992. – № 35. – P. 2043–2056.
139. Jacob D. A comprehensive model inter – comparison study investigating the water budget during the BALTEX – PIDCAP period / D. Jacob, B.JJ.M. Van den Hurk, U. Andre, G. Elgered, C. Fortelius, L.P. Graham // Meteor. Atm. – 2001. – №. 77. – P.61-73.
140. Mall R.K. Mitigating climate change impact on soybean productivity in India: a simulation study. / R.K. Mall, M. Lal, V.S. Bhatia, L.S. Rathore, R. Singh // Agricultural and Forest Meteorology. – 2004. – № 121 (1-2). – P.113-125.
141. Mavromatis T. Developing genetic coefficients for crop simulation models with data from crop performance trials / T. Mavromatis, R. J. Boote, J. W. Jones, A. Irmak, D. Shinde, G. Hoogenboom. – Crop Science 41. – 2001. –P. 40-51.
142. Muchow, R.C. Water and Nitrogen limitations in soybean grain production II. Field and model analyses / R.C. Muchow, T.R. Sinclair // Field Crops Research. – 1986. – № 15(2). – P. 143-156..
143. Pasquale S. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles / S. Pasquale, C.H. Theodore, D. Raes, E. Fereres // Agronomy Journal. -vol.101. – No. 3. – P. 426-437.
144. Paz J.O. Calibration of a crop growth model to predict spatial yield variability / J.O. Paz, W.D. Batchelor, T.S. Colvin, S.D. Logsdon, T.C. Kaspar, D.L. Karlen // Transactions of the ASAE. – 1998. № 41. – P. 1527-1534.
145. Penning de Vries F. Opportunities for soya beans after rice in the Philippines: an exploration by simulation / F. Penning de Vries, J. Timsina. – CABO-DLO, Simulation Report. – 1992.– vol. 25. – 60 p.
146. Peterson V.H. Planting recommendations / V.H. Peterson //Soybean handbook. - Kansas State University. – Manhattan – 1976. – P. 6-8.

147. Robertson M. J. Simulating growth and development of soybean in APSIM / , M. J. Robertson, P. S. Carberry // Proceedings 10th Australian Soybean Conference, Brisbane . – 1998. – P. 130-136.
148. Roeckner E. The atmospheric general circulation model ECHAM4 : Model description and simulation of present - day climate / E. Roeckner, K. Arpe, L. Bengtsson, M. Christoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, U. Schlese, U. Schulzweida // Max - Planck - Institute fur Meteorologie, Report. – 1996. – P. 218.
149. Sau F. Evaluation and improvement of CROPGRO–SOYBEAN model for a cool environment in Galicia / F. Sau, K. J. Boote, B. Ruiz-Nogueira / Northwest Spain. Field Crops Research. – 1999. – N. 61 (3). – P. 273–291.
150. Setiyono T.D. Simulation of soybean growth and yield in near-optimal growth conditions / T.D. Setiyono, K.G. Cassmana, J.E. Specht, A. Dobermann, A. Weiss, H. Yang, S.P. Conley, A.P. Robinson, P. Pedersen, J.L. De Bruin // Field Crops Research. – 2010. – P. 161–174.
151. Scott W.O. Modern soybean production / W.O. Scott, S.R. Aldrich. – S&A Publications. – Illinois. – 1983. – 230 p.
152. Sharkey T.D. Estimating the rate of photorespiration in leaves / T.D. Sharkey. – Plant. – 1973. – P. 147-152.
153. Sinclair T.R. Criteria for publishing papers on crop modeling / T. R. Sinclair, N.A. Seligman // Field Crops Research. – 2000. –68 (3). – P. 165-172.
154. Sinclair T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model development / T. R. Sinclair // Field Crops Research. – 1986. – № 15 (2). – P. 125-141.
155. Sinclair T.R. Soybean yield in Argentina in response to weather variation among cropping seasons / L T.R. Sinclair, L. Salado-Navarro, E.N. Morandi, M.L. Bodrero, R.A. Martignone // Field Crops Research. – 1992. – №30 (1–2). – P. 1-11.
156. SoySim: A Simulation Model for Soybean Growth and Yield. Tri D. Setiyono, Kenneth G. Cassman, James E. Specht, Albert Weiss, Achim Dobermann, Haishun Yang: http://soysim.unl.edu/soysim_manual.html

157. Thompson L.M. Weather and Technology in the Production of Corn and Soybeans / L.M. Thompson. – Center for Agricultural and Rural Development. – Iowa State University. – 1963.– Report № 17.
158. Thornley J. H.M. Mathematical models in plant physiology. A quantitative approach to problems in plant and crop physiology / J.H.M. Thornley . – London, New York: Acad. Press. – 1976. – 318 p.
159. Wann V. Dynamic model for plant growth: adaptation for vegetative growth of soybean / V. Wann, C.D. Raper // Crop. Sci. – 1979. – №. 4. – P. 461-467.
160. Wilkerson G.G. Modeling soybean growth for crop management / G.G. Wilkerson, J.W. Jones, K.J. Boote, K.T. Ingram, J.W. Mishoe. – Trans. ASAE. – 1983. – P. 63-73.
161. Zelitch I. Photosynthesis, photorespiration, and plant productivity / I. Zelitch. – Acad. Press. – New York-London. – 1988. – 247 p.