

В. Н. Хомяков

ОБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АГРОЦЕНОЗА

Агрометеорологический аспект



Ленинград Гидрометеиздат 1989

Рецензенты: канд. геогр. наук Н. И. Гойса,
д-р геогр. наук И. В. Свислук

В книге рассмотрены теоретические и методические основы и пути решения проблемы количественной оценки состояния агроценоза. Дана оценка важнейших параметров состояния посевов зерновых культур (озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ярового ячменя, овса, гречихи и проса), среды обитания и условий произрастания растений, а также эффективности применения удобрений. Описаны незамкнутые схемы оценки состояния агроценоза и приведены примеры расчета.

Монография предназначена для агрометеорологов и специалистов сельского хозяйства. Она может быть полезна также специалистам, занимающимся программированием урожаев сельскохозяйственных культур и интерпретацией аэрокосмической информации.

The monograph by V. N. Khomyakov „Realistic crop appraisal: an agrometeorological aspect“ discusses basic parameters of the state of grain crops (winter and spring wheat, winter rye, spring barley, oats, buckwheat, and millet), selected characteristics of environmental and growth conditions of crops, and indices describing man-induced effects. Their ranges are specified, providing inadequate, optimum and excessive impacts. Summing up the book, the author discusses open schemes for the crop state appraisal and presents practical examples.

The monograph is of special interest to agrometeorologists, agriculturalists, specialists in land reclamations, and may be useful to those interested in programming crop yields and interpretation of aerospace data.

350572

Малоохтинский
гидрометеорологический институт
БИБЛИОТЕКА
7-й 195196 Малоохтинский пр., 91

X 3702030000-128 41-90
069(02)-89

ISBN 5-286-00044-4

© Гидрометеоиздат, 1989 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Зерновое хозяйство является основой всего сельскохозяйственного производства. Увеличение урожайности и валового сбора зерна было и остается ключевой проблемой развития сельского хозяйства. Перед сельским хозяйством поставлена задача получения максимального количества продукции при наименьших затратах труда и средств на ее производство. Успешное решение этой задачи возможно лишь при правильном и всестороннем учете природных ресурсов. Интенсификация производства зерна выдвигает ряд новых проблем в сфере управления сельским хозяйством и оперативного принятия оптимальных решений в конкретных агрометеорологических ситуациях. По мере подъема общей культуры земледелия и внедрения интенсивных технологий возделывания зерновых культур резко возрастает роль агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства. Важное народнохозяйственное значение имеет и регулярная информация о состоянии посевов зерновых культур в колхозах и совхозах нашей страны.

В настоящее время стационарные и автомаршрутные наземные агрометеорологические наблюдения за зерновыми культурами (озимой рожью, озимой и яровой пшеницей, яровым ячменем, овсом, гречихой и просом) систематически проводят более 2,5 тыс. гидрометеорологических станций и около 25 тыс. постов. При этом агрометеорологические наблюдения на всех станциях и агрометеорологических постах производятся по единым методикам [80, 100 и др.]. На основе получаемой агрометеорологической информации в Гидрометцентре СССР, гидрометеорологических центрах республиканских и территориальных управлений по гидрометеорологии и обсерваториях составляются различные агрометеорологические прогнозы [101], рекомендации, бюллетени и справки. Кроме того, издаются агрометеорологические ежегодники и агроклиматические справочники. Однако непосредственно в производственной деятельности колхозов и совхозов агрометеорологическая информация используется мало. На наш взгляд, одна из причин этого — недостаточное внимание к исследованиям по установлению критериев оптимальности агрометеорологических факторов с единых позиций видов на урожайность. Согласно рекомендациям [80, 100], состояние посевов сельскохозяйственных культур в течение вегетации оценивается, как правило, визуально, по внешнему виду растений, и по сравнению с состоянием растений в годы высокой урожайности при обычно принятом уровне агротехники. Такая оценка является субъективной. Методика количественной оценки состояния посевов по данным наземных наблюдений разработана только для озимых (для осени и весны) и яровой

пшеницы [80]. Однако она также не учитывает параметров состояния среды обитания растений и эффектов антропогенного воздействия на них.

В книге содержатся результаты исследований автора по количественной диагностике состояния агроценоза с единых позиций видов на урожайность. Для исследований были использованы многолетние данные гидрометеорологических станций, данные опытов ВНИИ удобрений и агрохимии им. Д. Н. Прянишникова и государственных сортоиспытательных участков, расположенных в основных районах возделывания зерновых культур. Кроме того, использовались результаты полевых и вегетационных опытов, в которых имитировались термический и влажностный режим и условия минерального питания, а также создавались стрессовые ситуации путем искусственного воздействия на растения низкой температуры.

Установленные в процессе исследования закономерности формирования урожая позволили получить критерии оптимальности агрометеорологических величин, которые могут быть использованы при агрометеорологическом обеспечении подразделениями Госкомгидромета СССР сельскохозяйственных предприятий. Автор выражает надежду, что эти разработки будут полезны для специалистов колхозов и совхозов при программировании урожайности зерновых культур и их возделывании по индустриальным и интенсивным технологиям, а также для специалистов, занимающихся интерпретацией аэрокосмической информации. Кроме того, автор надеется, что проведенная в монографии оценка оптимальности режима увлажнения и установленные интервалы параметров агроценоза будут использованы мелиораторами и при разработке ресурсосберегающих режимов орошения и осушения почвы при возделывании зерновых культур.

Описание закономерностей формирования продуктивности и оценка состояния посевов гречихи выполнены при участии Т. В. Хомяковой.

Автор выражает глубокую признательность д-ру геогр. наук И. В. Свисюку и канд. геогр. наук Н. И. Гойсе за тщательный просмотр рукописи и полезные замечания, а также д-ру геогр. наук, проф. Е. С. Улановой за ценные советы в процессе подготовки рукописи к изданию. Автор приносит свою искреннюю благодарность Ю. В. Астафьевой, Л. Ю. Бойко, Н. Н. Жучковой, И. Ю. Ильичевой, М. В. Котляровой и Т. П. Федоровой, оказавшим большую помощь автору в обработке данных и оформлении рукописи. Автор благодарит также сотрудников гидрометеорологических центров республиканских (Армянского, Белорусского, Казахского, Латвийского, Литовского, Молдавского, Туркменского и Эстонского) и территориальных (Верхне-Волжского, Западно-Сибирского, Иркутского, Омского, Приволжского, Северного, Северо-Западного, Северо-Кавказского, Центрально-Черноземных областей и Уральского) управлений по гидрометеорологии за подготовку исходных данных агрометеорологических наблюдений.

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- B — фитомасса
- ГТК — гидротермический коэффициент
- D — доза внесенных удобрений
- Z — количество зерен в одном колосе (метелке)
- K — количество колосков в колосе (метелке), на единице площади
- Π — цена одного балла
- A, B, C — показатели (характеристики), учитывающие соответственно эффекты антропогенных воздействий, состояние составляющих агроценоз растений и состояние посева как агроценоза в целом
- a, b, c, d — параметры (коэффициенты) уравнения
- E_R — вероятная ошибка коэффициента корреляции
- E — норма высева семян
- H — высота растений
- k — поправочный коэффициент
- L — густота стеблей
- M — густота всходов, растений
- m — масса 1000 зерен
- N — число членов (длина) ряда
- n — количество факторов, полей
- P — продуктивность (урожайность) растения, колоса, метелки
- Q — оценка состояния посева (агроценоза) по видам на урожайность; урожайность
- R — коэффициент корреляции
- r — спектральный коэффициент энергетической яркости посева
- S — площадь посева, поля
- W — показатели состояния и свойств среды обитания растений; запасы продуктивной влаги
- Z — количество осадков
- α — сохранность растений, стеблей
- β — фаза развития, количество стеблей одного растения (кустистость)
- γ — величина ущерба, гибели
- ΔQ — прибавка урожайности от применения удобрений
- $\Delta_i Q(X_i)$ — поправка к частной оценке состояния посева на X_i -й фактор
- δ — среднее квадратическое отклонение между рассчитанными и фактическими предиктантами
- θ — температура воздуха
- σ — среднее квадратическое отклонение
- τ — координата времени, продолжительность периода

Глава 1

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АГРОЦЕНОЗА

1.1 Краткая история вопроса

Оценка видов на урожайность по состоянию посева визуально давалась производителем на протяжении всей истории земледелия. Можно привести много примеров такой оценки состояния посевов. Так, П. И. Броунов [15] при изучении влияния метеорологических условий на произрастание зерновых, в частности овса, предложил качественную оценку состояния посевов по видам на урожайность. Это были первые попытки качественного прогноза урожайности по общему состоянию посева в срок наблюдений.

В 1939 г. на агрометеорологической сети станций была введена и используется до настоящего времени методика визуальной оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур по пятибалльной шкале: отличное (очень хорошее), хорошее, среднее, неудовлетворительное (плохое) и очень плохое состояние, полная или почти полная гибель посевов (плодов) [42, 80]. Аналогично оценивается состояние сельскохозяйственных посевов и природных угодий при проведении агрометеорологических наблюдений на постах колхозов и совхозов [100], агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах пастбищного животноводства [43], при производстве наземных маршрутных [99] и аэровизуальных агрометеорологических обследований посевов сельскохозяйственных культур и природных угодий [37, 98], а также при сортоиспытании сельскохозяйственных культур [72].

Во всех указанных случаях общее состояние посевов сельскохозяйственных культур в течение вегетации оценивается визуально по сравнению с состоянием растений в годы высокой урожайности при обычно принятом уровне агротехники. Такая оценка является субъективной и не отражает видов на урожайность. Так, по исследованиям Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии [49] при больших колебаниях урожайности озимой пшеницы (от 0,5 до 4,0 т/га) визуальная оценка состояния посевов, которая давалась наблюдателями агрометпостов Обнинского агрометеорологического полигона (Калужская область), оказалась в пределах только двух градаций: 3 и 4 балла. Причем при низкой урожайности ($< 1,5$ т/га) на 40 % полей посевам была дана оценка 4 балла, а остальным полям —

3 балла. При относительно высокой урожайности ($> 2,5$ т/га) оценку 3 и 4 балла получили соответственно 23 и 77 % полей.

П. И. Броунов еще в 1919 г., раскрывая практическое значение обнаруженных «критических периодов» у растений, видел возможность перехода от визуальных (субъективных) оценок состояния посевов «...как это обычно делается только на основании вида растений» [15] к количественным оценкам видов на урожайность. Однако несмотря на очевидную необходимость количественная оценка состояния сельскохозяйственных посевов по видам на урожайность из-за отсутствия соответствующих научных разработок долгое время не проводилась. Действующие в настоящее время методики количественной оценки состояния посевов яровой пшеницы [80] применяются с 1963 г., кукурузы, льна-долгунца, подсолнечника и сахарной свеклы на посевах без орошения — с 1973 г., а озимых ржи и пшеницы (осенью и весной) — с 1985 г.

Следует отметить, что вопросу количественной оценки состояния озимых зерновых культур уделяла внимание Е. С. Уланова [120], а также другие исследователи. Так, в 1973 г. А. Н. Полевым [89] была предложена шкала оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур по площади листовой поверхности (тыс. м²/га). В. А. Монсейчик в 1975 г. наметила количественные показатели оценки озимых ржи и пшеницы перед зимовкой [74]. В 1982 г. опубликована разработанная автором с сотрудниками методика количественной оценки состояния посевов зерновых культур (озимой ржи, озимой и яровой пшеницы, ярового ячменя и овса) [137], а в 1984 г. — методика количественной оценки состояния посевов гречихи [140]. Такова краткая история изучения проблемы количественной оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур по данным наземных наблюдений.

В последние годы успешно развиваются количественные методы диагностики состояния посевов сельскохозяйственных культур по данным аэрокосмической информации [44, 49—51, 97 и др.].

1.2. Оценка состояния агроценоза

Согласно [79], под *количественной оценкой состояния посевов* отдельных сельскохозяйственных культур понимается характеристика общего состояния посевов интересующей нас культуры (в баллах), рассчитанная по элементам продуктивности растений в срок определения.

Методика количественной оценки состояния посевов озимой ржи, озимой и яровой пшеницы, льна-долгунца, подсолнечника и сахарной свеклы на полях без орошения, согласно [80], основана, в первую очередь, на учете густоты посева, а кукурузы, кроме того, — на учете фитомассы среднего растения. Эта методика допускает введение поправок (до 1—2 баллов по усмотрению наблюдателя) при наличии повреждений посевов сельскохозяйственными вредителями и болезнями или существенной засоренности, а также в результате неблагоприятных метеорологических явлений.

Схема оценки состояния посевов льна-долгунца и подсолнечника предусматривает также использование данных о высоте растений, а сахарной свеклы — сведений о среднем суточном приросте массы корня. Кроме того, при оценке состояния посевов в репродуктивный период используются данные об элементах продуктивности: о количестве колосков и зерен в колосе пшеницы, о числе сформировавшихся початков и их озерности у кукурузы, о количестве коробочек и числе в них семян у льна, о диаметре корзинки подсолнечника. Однако очевидно, что оценка состояния посевов будет недостаточно полной, если одновременно с упомянутыми данными не учитывать состояние среды обитания растений и эффекты антропогенного воздействия на них, особенно показатели, имеющие большую инерционность своего действия.

Ни одна из рассмотренных выше методик оценки состояния посева [74, 80, 98—100] не учитывает особенностей агротехники возделывания. По этому поводу высказывается мнение, что агротехника возделывания и факторы среды обитания растений проявляются в состоянии агроценоза и учитываются в процессе агрометеорологических наблюдений за габитусом культурных растений. И, вероятно, в моделях оценок состояния посевов (по видам на урожайность) можно не вводить величины, отражающие состояние среды обитания растений и эффекты антропогенного воздействия на агроценоз. Это предположение основано на поверхностном анализе существа происходящих сложнейших явлений и верно только частично.

Во-первых, известно, что агротехнические мероприятия направлены на максимальное использование биоэнергетического потенциала почвы, условий среды обитания растений и больших возможностей существующих видов и сортов сельскохозяйственных культур. Следовательно, большинство агротехнических приемов обладают большой инерционностью действия (как прямого, так и косвенного) и это надо учитывать в моделях оценки видов на урожайность. Например, основное удобрение, вносимое до посева, оказывает влияние на формирование урожая в течение всей вегетации возделываемой культуры, и кроме того, воздействует на продуктивность сельскохозяйственных культур ротации севооборота.

Во-вторых, агротехнические мероприятия вызывают изменения состояния растений, например, на молекулярном и клеточном уровнях. Такие тонкости агрометеорологические наблюдения не улавливают (и не призваны улавливать). Это также свидетельствует о том, что в модели оценки видов на урожайность следует вводить величины, учитывающие эффекты антропогенного воздействия на агроценоз.

Что касается удобрений, в зависимости от дозы и вида вносимых перед посевом удобрений, например, у озимых по-разному происходит закалка растений осенью, формируется различная их зимостойкость, озимые находятся в различном состоянии. Однако разрешающая способность стандартных методов агрометеорологи-

ческих наблюдений не позволяет обнаружить такие различия в состоянии посева.

Поэтому очевидно, что в схему объективной количественной оценки состояния агроценоза должны быть включены показатели, непосредственно учитывающие эффекты агротехнических мероприятий. В этой связи уместно подчеркнуть справедливый тезис И. С. Шатилова и А. Ф. Чудновского [145] о том, что более работоспособными оказываются модели, которые строятся с учетом агротехники. При этом обязательно должны быть приняты во внимание основные законы земледелия и состояние среды обитания растений.

В рассматриваемые методики оценки состояния посева не входят также и характеристики состояния среды обитания растений. Только при оценке состояния посевов яровой пшеницы даются количественные показатели отдельно для зон достаточного и недостаточного увлажнения [80]. Однако известно, что в зоне достаточного увлажнения часто наблюдаются засушливые годы, а в зоне недостаточного увлажнения — избыточно влажные. И следовательно, полезность такого разделения вызывает сомнение, так как оно весьма условно. В модель оценки должны быть включены также величины, учитывающие состояние среды обитания растений (в первую очередь имеющие недостаточное или избыточное значение).

Вполне понятно, что при оптимальной среде обитания растений состояние агроценоза будет улучшаться и, следовательно, продуктивность растений повысится. И наоборот, если между потребностями растений и средой обитания имеет место дисгармония, то состояние агроценоза будет ухудшаться и продуктивность обязательно понизится. Состояние растений находится в динамическом равновесии с результатом действия всех факторов внешней среды. Таким образом, недоучет эффектов антропогенного воздействия на агроценоз и состояния среды обитания растений существенно снижает практическую ценность упомянутых выше методик оценки состояния посева сельскохозяйственных культур. Этот пробел в определенной степени восполняется разработками автора [137 и др.].

1.3. Пути решения проблемы количественной оценки состояния агроценоза

Наши исследования [137, 140] показали, что в общем виде агрометеорологическую оценку состояния посевов сельскохозяйственных культур на конкретном поле с позиций видов на урожайность или на сохранность растений можно представить как функцию четырех групп характеристик:

$$Q_{\tau} = F(C, B, A, V), \quad (1.1)$$

где Q_{τ} — оценка состояния посевов в момент τ ; C — характеристики состояния посева как агроценоза в целом; B — характеристики

(показатели) состояния культурных растений, составляющих агроценоз; А — показатели антропогенного воздействия на агроценоз и среду обитания растений; В — характеристики (показатели) состояния и свойств среды обитания растений.

Основной характеристикой состояния посевов как агроценоза в целом должен быть один или несколько фитометрических параметров, а чаще всего густота культурных растений (количество растений или стеблей на единице площади). При наличии неблагоприятных для сельскохозяйственного посева экологических или других явлений (большая засоренность посева, повреждение культурных растений сельскохозяйственными вредителями, а также в результате неблагоприятных метеорологических явлений и др.) в качестве дополнительных характеристик состояния агроценоза в схему оценки состояния посева должны быть включены соответствующие показатели.

Состояние культурных растений, составляющих агроценоз, характеризуется такими показателями, как высота растений, кустистость, количество развитых колосков в колосе, его озерненность и др. В качестве показателей антропогенного воздействия на агроценоз используются дозы и состав основного удобрения, подкормок, внесенных гербицидов, ядохимикатов и др. Очевидно, что одни антропогенные факторы направлены на изменение материально-энергетических ресурсов среды обитания и одновременно с этим на оптимизацию условий существования (удобрение, орошение, осушение и т. д.), другие (путем изменения условий существования) воздействуют на управляющие факторы (известкование и гипсование почв, промывка солончаков, рыхление и вспашка почвы и т. д.).

Для характеристики среды обитания растений при количественной оценке состояния посевов можно использовать данные актинометрических и метеорологических наблюдений метеорологических станций и постов, а также результаты агрохимических анализов почв, определения их водно-физических свойств и результаты других почвенных обследований. Показатели состояния среды обитания растений, согласно [91], подразделяются на две следующие группы:

- 1) характеристики природных ресурсов, включаемых в процессы фотосинтеза и метаболизма. Эти ресурсы обычно ограничивают рост и развитие, а следовательно, и продуктивность растений;

- 2) показатели условий жизни, или управляющие природные факторы, т. е. те параметры среды и ее свойства, которые влияют на скорость протекающих в организме реакций, но количественно не входят непосредственно в их состав (температура почвы и воздуха, давление воздуха, кислотность и засоленность почвы и т. д.).

Воздействие факторов среды обитания и антропогенных мероприятий на продукционный процесс растений происходит в течение всей их вегетации. Оно сказывается как на общем состоянии агроценоза, так и на состоянии составляющих его культурных

растений. Поэтому в модели оценки состояния посевов по видам на урожайность или сохранность растений должны быть информативные показатели состояния среды их обитания и ее свойств, а также величины, отражающие антропогенные воздействия.

Вполне естественно, что при оценке состояния посевов учесть все упомянутые показатели и характеристики не представляется возможным, да это и нецелесообразно, так как многие факторы связаны между собой, особенно величины, находящиеся внутри отдельных групп модели (1.1). Поэтому при отборе диагностических показателей оценки состояния посевов рекомендуется использовать одну или две (как можно менее связанных между собой) величины из каждой группы характеристик в модели (1.1). В связи с этим важен вопрос отбора наиболее информативных из них. Для этой цели применим ряд способов [111, 127 и др.]. Нами был использован информационный и регрессионно-корреляционный анализ в соответствии с исследованиями [8, 17, 46, 84, 88, 96 и др.].

Для более полного учета наиболее информативных по отношению к урожайности или к другому признаку агроценоза характеристик при оценке состояния посевов сельскохозяйственных культур на конкретных полях $\hat{Q}_\tau$ (баллы) и для обеспечения практической реализации модели (1.1) в работе [137] использована незамкнутая (открытая) схема (модель) вида

$$\hat{Q}_\tau = \left[Q(B, H, \dots, M) + \sum_{i=1}^n \Delta_i(X_i) \right] P k_j C^{-1}, \quad (1.2)$$

где τ — дата обследования; $Q(B, H, \dots, M)$ — частная оценка состояния посева, зависящая от основных (одного или нескольких) показателей состояния агроценоза: фитомассы B , высоты H и густоты растений M , коэффициента энергетической яркости посева r и др.; $\Delta_i Q(X_i)$ — поправки к величине $Q(B, H, \dots, M)$ на действие других факторов; $\sum$ и Π — знаки суммы и произведения соответственно; n — число факторов, привлекаемых дополнительно к основному в виде поправок; C — цена одного балла, т/га; k_j — поправочный коэффициент при наличии j -го неблагоприятного явления.

Согласно В. П. Дмитренко [34], коэффициент k_j следует вводить в базовую прогностическую модель в виде специального блока учета неблагоприятных явлений (полегание посевов, число дней с суховеями и др.). Этот поправочный коэффициент k_j автор рекомендует рассчитывать по формуле

$$k_j = \left(1 - \frac{S_n}{S} \right) \gamma, \quad (1.3)$$

где S_n и S — соответственно площадь посевов, подвергшихся повреждению, и общая площадь, га; γ — относительный ущерб, зависящий от неблагоприятного явления и времени его действия.

Например, ущерб от полегания посевов на всей площади поля в фазу колошения по зерновым культурам, по А. Д. Пасечнику [85], составляет в среднем 40 % урожайности, т. е. $\gamma=0,4$.

В нашей работе [140] подчеркивается, что биологической основой количественной оценки состояния посева сельскохозяйственных культур может служить формула структуры урожая, предложенная М. С. Савицим [103, 104], которая для наших целей представляется в простейшем виде так:

$$Q = \sum_{i=1}^M P_i = \bar{P}M, \quad (1.4)$$

где Q — урожайность зерна с единицы площади; P_i и $\bar{P}$ — соответственно продуктивность отдельных растений и ее среднее значение (одна из характеристик, составляющих агроценоз растений); M — густота растений, т. е. число продуктивных растений на единице площади (одна из биологических характеристик агроценоза в формулах (1.1) и (1.2)).

Выбор модели оценки состояния агроценоза по видам на его урожайность в соответствии с выражением (1.1), так же как и выбор моделей для программирования и прогнозирования урожайности, затрудняется чрезвычайно сложным характером взаимосвязей между параметрами состояния живой и неживой природы и эффектами антропогенного воздействия на них в процессе сельскохозяйственного производства [18, 20, 25, 29, 31, 33, 38, 53—55, 58, 60, 63, 65, 71, 73, 74, 81, 82, 87, 90, 107, 109, 112, 117, 122, 125, 126, 144, 145 и др.].

Известно [113 и др.], что еще Либих, а затем Митчерлих предложили схемы комплексного воздействия различных факторов на организм. Модель (1.2) объединяет схемы Либиха и Митчерлиха, которые, как подчеркивается в работе [113], к настоящему времени не претерпели существенных изменений и применяются экологами всего мира.

Схема Либиха предполагает, что потребность организма в одном из факторов зависит от обеспеченности его другим фактором, и зависимость урожая от факторов описывается полиномом, что соответствует в модели (1.2) многочлену, заключенному в квадратные скобки. Схема Митчерлиха предполагает, что потребность организма в одном из факторов не зависит от обеспеченности его другими факторами, и зависимость урожая от факторов описывается в виде произведения потенциальной продуктивности на доли урожая, теряемые из-за неоптимальности условий, что соответствует в нашей модели (1.2) произведению поправочных коэффициентов. Согласно исследованию [113], для биологических объектов действительно существует область значений параметров внешней среды, в пределах которой продуктивность объекта по различным показателям (урожай зерна, количество белка, сахара и т. д.) пропорциональна воздействию каждого отдельного фактора

и, по-существу, почти не зависит от значений других факторов, что значительно упрощает задачу.

Таким образом, одно из удовлетворительных решений проблемы объективной оценки агроценоза, на наш взгляд, возможно путем реализации модели (1.2), о чем будет сказано ниже. Модель (1.2) является не замкнутой и позволяет, учитывая основные законы земледелия, привлекать в качестве аргументов факторы, находящиеся в минимуме или в избытке и оказывающие решающее влияние на формирование урожая.

Другое (из возможных) решение проблемы количественной оценки состояния агроценоза, на наш взгляд, может быть реализовано путем разработки и применения критериев (мер) оптимальности агрометеорологических и других условий жизнедеятельности агроценоза по отношению к его продуктивности и другим параметрам, как это сделано в работах [142, 143]. Под *степенью оптимальности* каждого фактора (условий существования, свойств среды обитания живых организмов в агроценозе) понимается оценка уровня его количественно-вещественной или энергетической напряженности по отношению к ее значению, обеспечивающему максимальную продуктивность агроценоза.

Для того чтобы получить интервалы значений отдельных предикторов (агрометеорологических факторов, условия существования, свойств среды обитания живых организмов в агроценозе) по уровню (степени) их оптимальности относительно предиктанта (биологического хозяйственно полезного параметра агроценоза и составляющих его индивидуумов) необходимо иметь количественную связь предиктанта с предиктором, выраженную аналитически или в форме графиков и таблиц. Предварительно остановимся на основных положениях методики исследований и краткой характеристике исходных данных.

Глава 2

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Зависимость оценок состояния посева от агрометеорологических факторов

Для определения закономерностей формирования продуктивности агроценоза были использованы данные стандартных агрометеорологических наблюдений гидрометеорологических станций [80] за озимой рожью, озимой и яровой пшеницей, яровым ячменем, овсом и гречихой в основных районах их возделывания за 1951—1982 гг., а также материалы сортоиспытаний гречихи и проса всех сортоиспытательных участков Госагропрома СССР за 1978—1982 гг.

Сложность реализации модели (1.2) заключается в том, что функции $Q(B, H, \dots, M)$ и $\Delta_i Q(X_i)$ неизвестны и их требуется определить на основании фактического материала. В том случае, если известна форма зависимости, то указанные функции можно рассчитать на ЭВМ, например, методом наименьших квадратов. Однако вид функций неизвестен, а различные предположения о форме связи урожайности (или других показателей продуктивности) с агрометеорологическими факторами (прямая, квадратный многочлен или некоторые другие простые функции), как правило, не отражают действительность. В ряде случаев аппроксимация таких зависимостей возможна при условии применения двух и более видов простых уравнений.

В этой связи для установления формы кривой нами был разработан и применен специальный алгоритм сглаживания (выравнивания) рядов данных, используемых для установления регрессионной зависимости [137]. После этого возможен (при необходимости) расчет уравнения регрессии или представление этой связи в табличной форме.

Процесс выравнивания данных совместных наблюдений заключается в скользящем осреднении предварительно ранжированных по аргументу рядов. При этом на ЕС ЭВМ рассчитываются координаты вторичного корреляционного поля. Прообразом такого алгоритма послужила методика обработки экспериментальных данных, изложенная в работе [88].

В основе алгоритма выравнивания случайных рядов лежит предположение, что первичное корреляционное поле может быть представлено кривой, имеющей низко- и высокочастотную составляющие. Низкочастотная составляющая представляет собой искомую кривую связи оценки состояния посева по конечной урожай-

ности или другой хозяйственно полезной характеристике (предиктанта) с интересующим нас фактором. Высоочастотные составляющие представляют собой «шумы» и «возмущения», обусловливаемые влиянием на предиктант всех других факторов. Роль скользящего осреднения предварительно ранжированных по аргументу рядов сводится к сжатию шумов и возмущений в окрестности искомой низкочастотной составляющей кривой.

Таким образом, используя многолетние ряды наблюдений, можно получить графики и уравнения связи неизвестных функций.

Расчет коэффициента корреляции для оценки тесноты связи рассчитываемых по формулам (или получаемых с помощью графика связи) и фактических величин производится, согласно [46, 123], по уравнению

$$R = \sqrt{1 - \left(\frac{\delta}{\sigma}\right)^2}, \quad (2.1)$$

где δ^2 — дисперсия разности между рассчитываемыми предиктантами и фактическими значениями функций, σ^2 — дисперсия последних.

Вероятная ошибка коэффициента корреляции E_R , согласно [121], рассчитывается по формуле

$$E_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{N}}, \quad (2.2)$$

где N — число случаев наблюдений.

Для получения уравнения множественной связи предиктанта с несколькими переменными использовался метод последовательной регрессии [84]. Кроме того, с целью реализации оценочной схемы (1.2) после установления графической или аналитической зависимости предиктанта с одной или несколькими характеристиками состояния агроценоза и среды обитания растений к полученным таким образом значениям оценок урожайности определялись поправки, представляющие собой уравнение регрессии или графики связи отклонений рассчитанной урожайности (или другого хозяйственно полезного параметра) от фактической с остальными наиболее информативными показателями состояния растений, антропогенных воздействий и состояния среды обитания.

2.2. Интервалы оптимальности агрометеорологических факторов и условий произрастания растений по степени их благоприятности

С целью получения критериев оптимальности отдельных факторов и условий существования в настоящей монографии, так же как и в работах [142, 143], все агрометеорологические показатели и характеристики по степени их благоприятности для формирования продуктивности или других параметров агроценоза были разбиты на пять градаций (интервалов) (табл. 2.1). При этом за

единицу (100 %) уровня (степени) оптимальности фактора (условий существования живых организмов) принята хозяйственно полезная характеристика агроценоза при его гармоническом оптимуме в трактовке Н. А. Максимова [69] относительно температуры.

Таблица 2.1

Шкала оценки оптимальности агрометеорологических факторов и условий произрастания растений по степени их благоприятности для формирования продуктивности агроценоза или других биологических хозяйственно полезных его параметров

Балл	Уровень (степень) напряженности фактора или условий произрастания растений	Относительная продуктивность (другие хозяйственнополезные параметры) агроценоза при оптимальном значении фактора (условий произрастания растений), %
1	Недостаточный	<40
2	То же	40—70
3	Посредственный	70—90
4	Хороший	90—95
5	Оптимальный	95—100—95
4	Хороший	95—90
3	Повышенный	90—70
2	Избыточный	70—40
1	То же	≤ 40

Как видно из данных табл. 2.1, шкала оценки интервалов количественных значений агрометеорологических факторов, условий существования и свойств среды обитания живых организмов в агроценозе является симметричной. Баллом 1 оценивается неблагоприятный уровень напряженности фактора (недостаточный — на подъеме или избыточный — при снижении кривой связи), когда урожайность или другая хозяйственно полезная характеристика агроценоза не достигает 40 % величины этой характеристики при оптимальном значении рассматриваемого фактора. Баллом 3 оценивается средний уровень напряженности фактора (посредственный — на подъеме или повышенный — при снижении кривой связи), когда хозяйственно полезная характеристика колеблется от 70 до 90 % (на подъеме кривой связи) и от 90 до 70 % (при снижении кривой связи) от ее величины при оптимальном значении фактора. Баллом 5 оценивается благоприятный уровень напряженности фактора (оптимальный и субоптимальный), когда хозяйственно полезная характеристика достигает 90—100 % (на подъеме кривой связи) и 100—90 % (при снижении кривой связи) от ее значения при гармоническом оптимуме фактора. В некоторых случаях при очень широком субоптимальном интервале нижняя граница благоприятного уровня напряженности фактора принималась соответствующей более высокой (95 %-ной) относительной продуктивности агроценоза.

Таким образом, на основании фактических данных об урожайности были определены границы интервалов с недостаточным, оп-

тимальным и избыточным уровнями характеристик агроценоза для заданных (допустимых) значений возможного снижения его продуктивности или других хозяйственно полезных параметров.

2.3. Значение оценочного балла по видам на урожайность

Для практических целей при оценке состояния посевов цену балла целесообразно выражать в абсолютных единицах урожайности, что безусловно имело бы определенные преимущества. Но в связи со значительными сортовыми различиями в продуктивности необходимо для каждого сорта иметь свои оценочные урав-

Таблица 2.2

Шкала оценки состояния посевов зерновых культур

Балл	Средняя урожайность $\bar{Q} \pm \text{доля } \sigma$	Урожайность	
		% сортового максимума	ц/га (для озимой пшеницы сорта Мироновская 808)
1	$<(\bar{Q} - \sigma)$	<22	$<15,5$
2	$(\bar{Q} - \sigma) \dots (\bar{Q} - 1/3\sigma)$	22—35	15,5—24,5
3	$\bar{Q} \pm 1/3\sigma$	35—48	24,6—33,5
4	$(\bar{Q} + 1/3\sigma) \dots (\bar{Q} + \sigma)$	48—61	33,6—42,7
5	$>(\bar{Q} + \sigma)$	>61	$>42,7$

нения типа (1.2), что практически невозможно, особенно для вновь районированных сортов.

В этой связи данные об урожайности, выраженные в абсолютных единицах (ц/га, т/га), целесообразно перевести в относительные и затем использовать их для установления связей с различными факторами. В нашей работе [137] за единицу относительной урожайности была принята урожайность каждого сорта, вероятность превышения которой менее 0,003 (условный сортовой максимум урожайности). При этом перевод данных об урожайности из абсолютных в относительные единицы выполнялся по формуле

$$Q_o = \frac{Q_a}{\bar{Q}_a + 3\sigma_Q} \cdot 100, \quad (2.3)$$

где Q_o — относительная урожайность, вероятность превышения которой менее 0,003, % максимальной урожайности сорта; Q_a и $\bar{Q}_a$ — урожайность того же сорта по данным хозяйственного учета на поле и среднее ее значение из соответствующей выборки, т/га; σ_Q — среднее квадратическое отклонение.

Этот подход, используемый часто и в настоящей работе, позволяет производить оценку состояния посевов с единых позиций

видов на продуктивность агроценоза и в значительной мере обходить сортовые различия в урожайности сельскохозяйственных культур. При этом шкала оценки состояния составляется на вероятностной основе (табл. 2.2).

Как видно из данных табл. 2.2, цена одного балла равна $\frac{2}{3}\sigma$. Для определения цены балла урожайности сельскохозяйственных культур того или иного сорта в абсолютных единицах (ц/га, т/га) необходимо по достаточно длинному ряду данных вычислить среднее значение и среднее квадратическое отклонение σ по известным формулам [17, 46, 88, 102, 121]. Так, например, по имеющимся в нашем распоряжении данным для озимой пшеницы сорта Миrowsкая 808 (90 случаев) средняя урожайность $\bar{Q}=29,0$ ц/га, среднее квадратическое отклонение $\sigma=13,5$ ц/га, следовательно, цена балла $\frac{2}{3}\sigma=9,0$ ц/га. Значит, удовлетворительному состоянию посева (оценочный балл 3) будет соответствовать урожайность ($\bar{Q} \pm \frac{1}{3}\sigma$) от 24,5 до 33,5 ц/га (см. табл. 2.2).

Эта шкала практически в два раза точнее трехбалльной шкалы оценок состояния посевов озимых культур (плохое, удовлетворительное и хорошее), проводимых с помощью аэрокосмических средств [50], причем оценка «удовлетворительно» соответствует средней урожайности $\pm \frac{2}{3}\sigma$, т. е. цена балла равна $\frac{4}{3}\sigma$.

Глава 3

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ ПЛОТНОСТИ (ГУСТОТЫ) АГРОЦЕНОЗА

3.1. Изменчивость плотности посева

Как известно, составной частью посева сельскохозяйственных культур как агроценоза — целостной многокомпонентной системы, кроме фитоценоза культурных растений и сорных видов растительности, является энтомофауна и микрофлора. В настоящей работе рассматривается формирование продуктивности посева только в связи с плотностью стояния культурных растений — материальных создателей полезной продукции. Густота посева является основным критерием при решении вопроса пересева и подсева озимых весной [110].

Количество колосоносных стеблей к моменту уборки во многом связано с первоначальной плотностью посева. Отечественные и зарубежные исследования [78, 151, 153, 155 и др.] показывают, что количество продуктивных стеблей зависит от количества высеванных семян. Однако литературные данные имеют противоречия (вероятно, кажущиеся). Так, в работе [152] в условиях Нидерландов конкуренция растений озимой пшеницы при высоких нормах высева вызывает угнетение поздних побегов, и они не становятся продуктивными. В Венгрии [153] при увеличении нормы высева яровой пшеницы (от 3,5 до 6,5 млн. зерен/га) возрастало (особенно при орошении) количество колосоносных стеблей на единице площади посева. Аналогичную картину наблюдали во Франции в опытах с озимой пшеницей [155].

Для получения максимальной урожайности сельскохозяйственных культур необходимо формирование посева с оптимальной плотностью продуктивного стеблестоя к моменту уборки. Для выполнения этого условия густота всходов должна быть достаточно высокой. Однако, несмотря на относительно строгое выдерживание утвержденных норм высева семян, на практике густота всходов имеет пеструю картину и колеблется по годам и территории в широких пределах.

Из анализа материалов наблюдений метеорологических станций (табл. 3.1) видно, что довольно часто встречаются посевы с изреженными всходами. Так, густота всходов озимой пшеницы менее 300 раст/м² на станциях Торжок и Новоалександровск наблюдалась в 11—13 % случаев, на станциях Шарковщина, Гигант, Приекули и Владимир — в 20—29 % случаев, а на станции Добеле — в 39 % случаев. Аналогичное непостоянство густоты всходов

наблюдается также по годам и на посевах других зерновых культур, что в конечном счете сказывается на урожайности. Фитоценоз как целое в силу обратной связи оказывает воздействие на состояние входящих в его состав растений [62]. В целом эта

Таблица 3.1

Повторяемость (%) числа растений озимой пшеницы в фазу 3-го листа

Станция	Число годослучаев	Число растений на 1 м ²			
		<300	300—400	400—500	>500
Торжок	24	11	31	34	24
Шарковщина	24	22	30	33	15
Гигант					
по припашке	29	24	21	41	14
по черному пару	20	23	28	39	10
Новоалександровск	42	13	40	39	8
Прикули	24	22	52	20	6
Добеле	33	39	42	13	6
Владимир	21	23	56	21	0

система подчинена принципу относительной целесообразности. Поэтому рассмотрим формирование продуктивного стеблестоя, рост растений, количество элементов продуктивности и урожайность в связи с густотой посева сельскохозяйственных культур.

3.2. Зависимость продуктивного стеблестоя от густоты фитоценоза

Густота стеблестоя в течение вегетационного цикла — величина весьма динамичная [78]. Процессы кущения и отмирания стеблей С. А. Муравьев [78] справедливо рассматривает как проявление взаимодействия растений в агроценозе, который является сложной, развивающейся в пространстве и времени системой, способной к саморегулированию густоты стеблестоя. Темпы образования и отмирания стеблей зависят от множества факторов. В этом процессе каждое растение и даже отдельный побег (стебель) по отношению к другому выступает в качестве фактора внешней среды. Так, в частности, на посевах сельскохозяйственных культур в течение всего периода жизни растений прослеживается четкая зависимость сохранности (выживаемости) растений и от их первоначального количества.

Рассмотрим период от прекращения вегетации растений озимой пшеницы осенью до ее возобновления весной. На рис. 3.1 представлена зависимость относительной сохранности стеблей ($\alpha_{ов} = L_в / L_о$, где $L_о$ и $L_в$ густота стеблей в начале и конце этого периода) от $L_о$.

Как видно из рис. 3.1, в тех случаях, когда осенью $L_о \geq 900$ ст/м², то их относительное количество к весне уменьша-

ется. При этом, чем гуще был посев перед уходом в зиму, тем меньше относительная сохранность стеблей к весне. Так, если перед уходом озимой пшеницы в зиму на 1 м^2 было 1200, 1800 и 2600 стеблей, то к весне их сохранялось в среднем соответственно около 90, 75 и 65 % их количества. Следует отметить, что абсолютное количество стеблей на 1 м^2 в начале весны ($L_{\text{в}} = \alpha_{\text{ов}} L_0$) с ростом L_0 также растет и составляет соответственно 1080, 1350

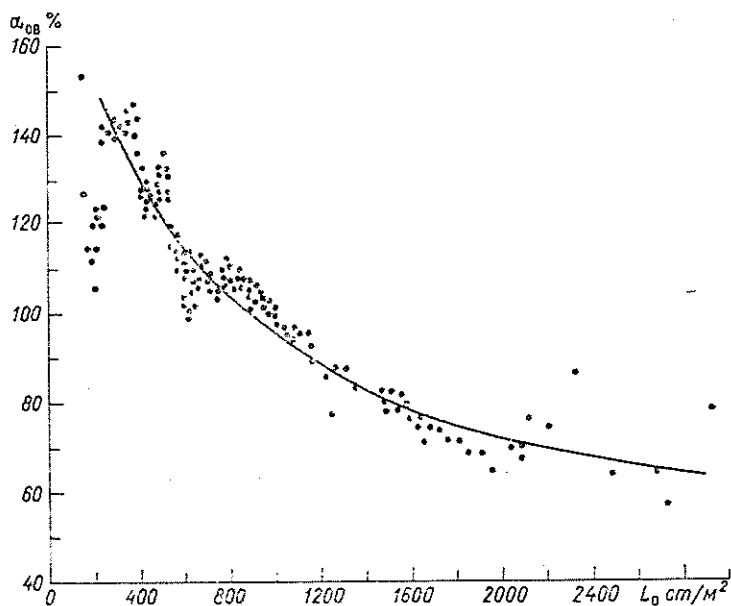


Рис. 3.1. Зависимость сохранности стеблей озимой пшеницы $\alpha_{\text{ов}}$ в период зимовки от их количества на 1 м^2 в начале этого периода L_0 .

и 1690 см/м^2 . В случаях когда $L_0 < 900 \text{ см/м}^2$, то к весне относительное количество стеблей на 1 м^2 бывает больше, чем в начале зимовки. Так, при $L_0 = 800 \text{ см/м}^2$ $\alpha_{\text{ов}} = 105 \%$, а при $L_0 = 400 \text{ см/м}^2$ $\alpha_{\text{ов}} = 130 \%$; однако абсолютное количество стеблей при этом составляет соответственно 840 и 520 ст/м^2 .

Сохранность растений в течение зимовки озимых культур хорошо согласуется с площадью поля (%) с погибшими к весне растениями. В тех случаях, когда лишь на небольшой части площади поля (<5 %) наблюдается гибель растений, т. е. в случаях благополучной зимовки озимой пшеницы, к весне могут появляться новые растения за счет невзошедших семян. В случае гибели 20 % растений голые места (с погибшими растениями или сильно изреженными) наблюдаются на 30 % площади поля и более.

Известно [138, 141], что загущенные посевы озимых зимуют хуже, чем посевы с нормальной густотой стеблестоя. В сельскохо-

зяйственном производстве гибель растений до 10 % принято считать естественной. Гибель в зимний период более 10 % площади посева озимой пшеницы сорта Мироновская 808 наблюдалась на загущенных посевах с густотой перед уходом в зиму 1200 и более стеблей на 1 м² (коэффициент корреляции $R_{S_v, \hat{s}_v(L)} = 0,45 \pm \pm 0,098$). На сильно раскустившихся озимых посевах также наблюдается повышенная гибель растений. Так, при кустистости 2,5—3 побега гибель растений достигает и превышает 10 % пло-

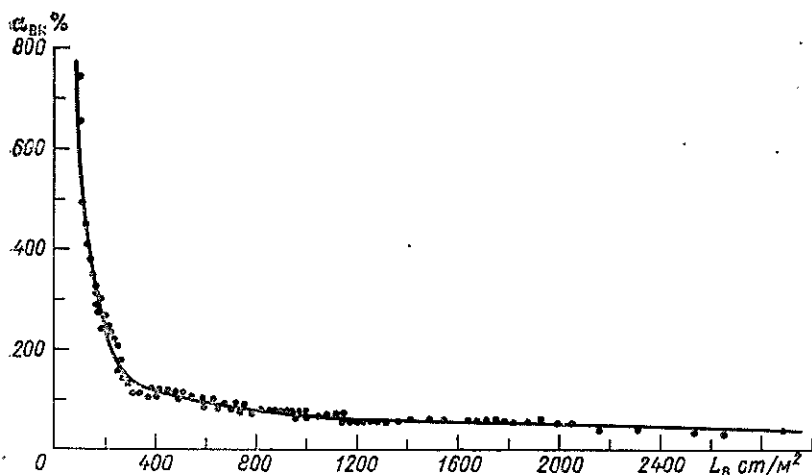


Рис. 3.2. Зависимость сохранности стеблей озимой пшеницы $\alpha_{вк}$ в период от возобновления вегетации растений весной до колошения от их количества на 1 м² в начале этого периода L_v .

щади поля, а при кустистости 6 побегов гибель растений происходит на 40 % площади. Коэффициент корреляции между фактической площадью с погибшими посевами и рассчитанной по графику $R_{S_v, \hat{s}_v(\beta)} = 0,49 \pm 0,094$ [138].

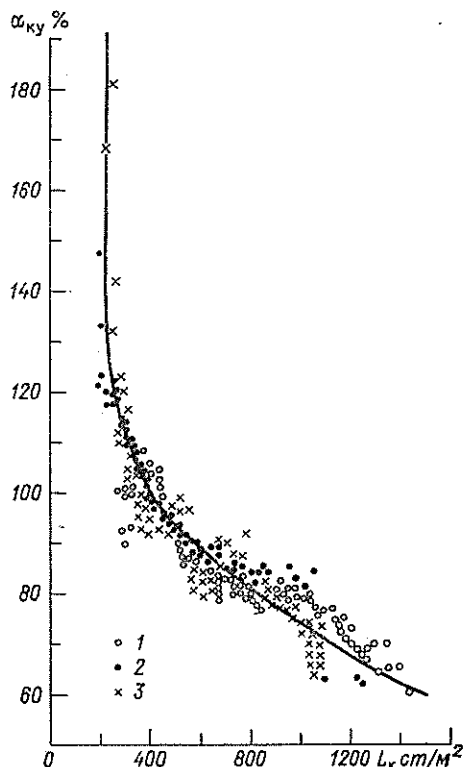
В период от возобновления вегетации растений озимых культур весной до колошения наблюдается еще большее относительное изменение густоты стеблей в зависимости от ее значения в начале периода (рис. 3.2). По наблюдениям А. С. Муравьева [78], формирование стеблестоя в агроценозе зависит не только от обеспеченности растений питательными веществами, светом и теплом. Даже на самых плодородных землях происходит интенсивный процесс отмирания (по [78] «сбрасывание») побегов, особенно при загущении посева. В массиве зерновых культур сбрасывание побегов происходит и при оптимальных условиях. Оно является результатом взаимного влияния растений друг на друга и их биологической конкуренции [78]. Такое отмирание боковых побегов представ-

ляет собой своего рода приспособляемость растений зерновых культур в условиях внутривидовой конкуренции.

Как видно из рис. 3.2, в период от возобновления вегетации озимой пшеницы до колошения сбрасывание побегов происходит обычно в тех случаях, когда весной густота стеблей $L_v \geq 550 \dots 600$ ст/м². При этом, чем гуще посев, тем относительно меньше в фазе колошения сохраняется стеблей. Если $L_v < 500 \dots 550$ ст/м², то побеги обычно не сбрасываются, а наоборот, за счет весеннего кущения растений происходит образование новых побегов и подгон переходит в категорию продуктивных стеблей. Особенно интенсивно процесс побегообразования наблюдается у изреженных посевов ($L_v < 300$ ст/м²).

Аналогичное явление наблюдается у зерновых культур и после фазы колошения (рис. 3.3). У озимой пшеницы, озимой ржи и у овса сбрасывание побегов происходит в ситуации, когда в среднем на 1 м² имеется 350—450 стеблей. Если у озимой ржи и овса на 1 м² стеблей меньше, то происходит побегообразование, выколашивание (выметывание

Рис. 3.3. Зависимость сохранности стеблей $\alpha_{ку}$ озимой пшеницы (1), овса (2), озимой ржи (3) в период колошение—уборка от их количества в начале этого периода L_k .



метелки) подгона и, следовательно, образуются новые продуктивные стебли. У озимой пшеницы на слишком редких в фазу колошения посевах (< 300 ст/м²), вероятно, из-за конкуренции с сорняками, так же как и на загущенных посевах, происходит отмирание некоторого количества побегов.

Растения гречи лучше сохраняются, когда густота всходов составляет 225—350 растений на 1 м². Если же густота всходов ниже или выше этого предела, доля сохранившихся растений снижается (в первом случае, вероятно, из-за конкуренции с сорняками, во втором — из-за внутривидовой конкуренции) [140].

Рассматривая более продолжительные периоды произрастания озимых культур (в целом от прекращения вегетации растений

осенью до уборки и от возобновления вегетации растений весной до уборки) между сохранностью стеблей и их густотой также наблюдается четкая криволинейная (гиперболическая) зависимость. При этом если осенью перед уходом в зиму и при возобновлении вегетации весной на 1 м^2 у озимой пшеницы в среднем имеются более 450, а у озимой ржи более 350 стеблей, то к моменту уборки будет происходить отмирание уже имеющихся побегов. Чем гуще посев, тем меньшая часть стеблей сохранится к моменту уборки урожая. Так, в частности, если в начале рассматриваемых периодов (осенью или весной) у озимой пшеницы наблюдалось в среднем 1000, 1400, 1800 и 2600 стеблей на 1 м^2 , то к уборке сохраняются в среднем около 55, 40, 30—35 и 20 % стеблей соответственно и остаются 500—520 продуктивных стеблей на 1 м^2 . На редких посевах озимой пшеницы (< 400 —450 стеблей на 1 м^2), наоборот, в весенне-летний период происходит интенсивное образование стеблей, а некоторые из них могут стать продуктивными.

В целом явление стеблеотбора является положительным явлением [21, 78]. Накапливаемые в процессе фотосинтеза корневой системой питательные вещества распределяются по всем побегам. В результате отмирания части боковых стеблей накопленные ими вещества перекачиваются в продуктивные стебли, которые продолжают вегетировать и тем самым усиливается их рост и развитие и повышается продуктивность. Согласно [78], этот процесс (сбрасывание боковых побегов) является наиболее полезным, если он происходит в начале колошения.

Следует отметить, что в зависимости от густоты посева на формирование каждого продуктивного стебля у зерновых культур «затрачивается» различное количество растений и стеблей. При небольшой густоте посева на один продуктивный стебель озимой пшеницы приходится меньше растений и стеблей, чем при большой. В частности, при густоте перед уходом в зиму 200 раст/м^2 у одного растения образуется не менее двух продуктивных стеблей. Подобные явления в научной литературе известны. Так, по сообщению [7] на выщелоченных черноземах Тульской области и дерново-подзолистых почвах Владимирской области уменьшение густоты всходов озимой пшеницы до 250 раст/м^2 вызвало рост энергии осеннего кущения. В литературе описаны случаи, когда продуктивная кустистость зерновых достигала нескольких десятков побегов на одно растение. Так, в штате Колорадо (США) [152] на широкорядных посевах (с междурядьем 40—50 см) гибридной пшеницы с низкой нормой высева (8,5—18,2 кг/га) на высоком агрофоне и с двумя поливами до колошения было получено 50—70 продуктивных стеблей на одно растение. В опытах Генической опытной станции [57] получено, что по мере загущения посевов озимой пшеницы сортов Безостая 1 и Одесская 16 (увеличение нормы высева с 3 до 7 млн. штук семян/га) продуктивная кустистость уменьшалась с 1,7 до 0,9. Вполне понятно, что в загущенных посевах озимой пшеницы резко снижается активность фотосинтетической деятельности растений и повышается изреженность

стеблестоя. При густоте 900 раст/м² на один продуктивный стебель приходится 1,5 растения, т. е. не каждое растение становится колосоносным. То же наблюдается при анализе густоты стеблей. При редком стеблестое, например 200 ст/м², на каждый продуктивный стебель приходится всего лишь 0,60 осеннего или весеннего стебля, т. е. растения в весенне-летний период продолжают куститься и часть новых побегов образует колос и становится продуктивной. При загущении стеблестоя до 1100 ст/м² и более на каждый продуктивный стебель приходится два и более стеблей. Более того, не каждый появившийся в фазу колошения колос становится продуктивным. Чем гуще посев, тем интенсивнее это явление.

Как уже отмечалось, количество продуктивных растений и стеблей в момент уборки обуславливается нормой высева семян, густотой всходов и дальнейшими процессами стеблеобразования и стеблеотбора.

Зависимость густоты продуктивных растений гречихи и проса от нормы высева семян и густоты всходов, полученная по данным Госсортосети [140], является довольно тесной. Коэффициенты корреляции между фактическим количеством продуктивных стеблей к моменту уборки гречихи и проса и полученным по графикам соответственно равны $R_{M_y, \hat{M}(E)} = 0,62 \pm 0,032$ и $R_{M_y, \hat{M}(M_a)} = 0,82 \pm 0,017$. Полевая всхожесть гречихи и проса в среднем колеблется от 40 до 70 % количества высеянных семян.

Таким образом, в первом приближении уже на ранних этапах произрастания гречихи и проса можно судить о количестве продуктивных стеблей ко времени уборки. Аналогичный результат получен и для других культур.

В работе Е. С. Улановой [122] показано, что между количеством продуктивных стеблей и их общим числом весной после перезимовки озимых культур наблюдается довольно тесная связь. По исследованиям [86], подавляющее большинство стеблей, появившихся до выхода растений в трубку, в зоне достаточного увлажнения дают озерненный колос. Следовательно, существует определенная связь между общим количеством стеблей в фазу выхода в трубку и количеством продуктивных стеблей. Для озимых культур такая связь прослеживается не только весной, но и в течение всего вегетационного цикла. Она аппроксимируется уравнением типа

$$L_y = a + bL_i + cL_i^2 + dC_i^3, \quad (3.1)$$

где L_y — густота продуктивных стеблей перед уборкой, млн. ст/га; L_i — их густота в отдельные периоды вегетации растений; a , b , c и d — параметры уравнения (табл. 3.2).

Как видно из данных табл. 3.2, ошибка расчета количества продуктивных стеблей озимой пшеницы по уравнению (3.1) в течение вегетационного цикла по мере приближения к уборке урожая существенно снижается. Коэффициент корреляции между

фактическим количеством продуктивных стеблей и рассчитанным по числу растений и стеблей меняется от 0,28—0,37 осенью, до 0,81 в фазу молочной спелости. В этой связи следует заметить, что в первой половине вегетации растений (до колошения) по общему количеству стеблей можно лишь ориентировочно судить о количестве продуктивных стеблей к моменту уборки урожая. После колошения надежность таких суждений для озимых зерновых культур существенно повышается.

Таблица 3.2

Параметры уравнения (3.1) связи количества продуктивности стеблей L_y (млн. ст/га) с их общим числом в разные фазы развития озимой пшеницы

Фаза развития растений	Число случаев	Параметры уравнения (3.1)			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
3-й лист	165	3,1	0,517	—0,022	0,0
Прекращение вегетации растений осенью	163	2,3	0,517	—0,0247	0,00037
Возобновление вегетации растений весной	163	2,3	0,517	—0,0247	0,00037
Колошение	163	0,0	0,942	—0,0285	0,0
Молочная спелость	163	0,1	1,057	—0,0278	0,0

Фаза развития растений	Число случаев	Ошибка уравнения, млн. ст/га	Коэффициент корреляции, <i>R</i>	Пределы изменения предиктора, млн. ст/га
3-й лист	165	1,59	$0,28 \pm 0,072$	9
Прекращение вегетации растений осенью	163	1,58	$0,37 \pm 0,068$	30
Возобновление вегетации растений весной	163	1,51	$0,46 \pm 0,062$	30
Колошение	163	1,22	$0,69 \pm 0,044$	12
Молочная спелость	163	1,00	$0,81 \pm 0,029$	11

Таким образом, формирование фитоценоза культурных растений — процесс сложный и многогранный. При этом ценотические связи растений проявляются не только в изменении густоты стеблестоя. Заметное влияние фитоценоз оказывает на выравнинность и высоту растений.

3.3. Зависимость высоты растений от густоты посева

Высота одновозрастных растений, находящихся в одинаковых условиях, в основном выравнивается. Однако некоторые из них (больные, поврежденные и ослабленные) не выдерживают конкуренции в агроценозе и обычно погибают. Высота растений

и продуктивность зерновых культур при прочих равных условиях в большой степени зависят от плотности стеблестоя. Зависимость высоты растений от густоты стеблей обнаруживается в самом раннем возрасте и прослеживается в течение всего периода вегетации, что хорошо иллюстрируется на примере озимой пшеницы (рис. 3.4).

Как видно из рис. 3.4, высота растений озимой пшеницы сортов Мироновская 808 и Безостая 1 уже осенью через 10 дней

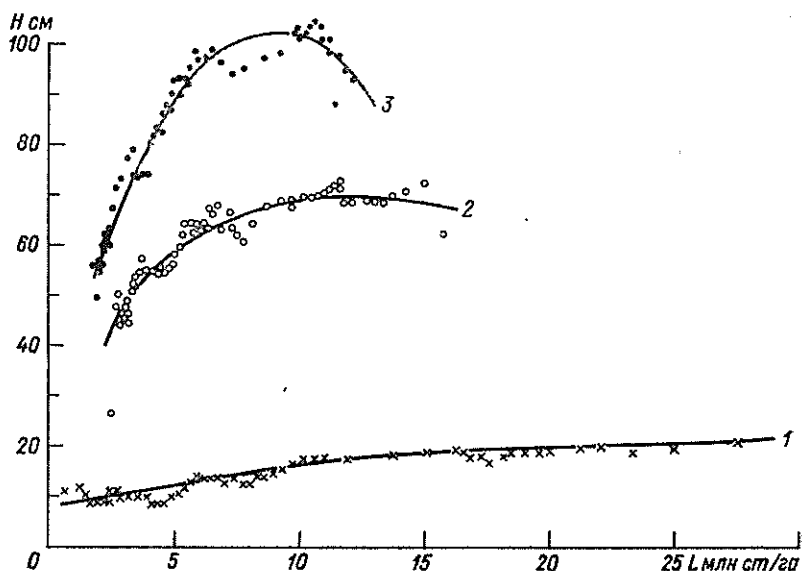


Рис. 3.4. Связь густоты стеблестоя L с высотой растений озимой пшеницы H осенью в момент прекращения вегетации (1), в фазы колошения (2) и молочной спелости (3).

после прекращения их вегетации монотонно возрастает по мере увеличения густоты посева от 8 см (при густоте 1 млн. ст/га) до 21 см (при густоте 27 млн. ст/га) (кривая 1). В фазу колошения кривая связи высоты растений озимой пшеницы H_K с густотой стеблестоя L_K характеризуется максимумом высоты, равным 70—71 см при $L_K = 11 \dots 12$ млн. ст/га (кривая 2). При L_K около 2,5—3,0 млн. ст/га высота озимой пшеницы в среднем составляет 40—35 см. Эта кривая описывается уравнением параболы 3-й степени:

$$H_K = 23,2 + 9,95L_K - 0,647L_K^2 + 0,0123L_K^3. \quad (3.2)$$

В фазу молочной спелости зависимость между величинами L_M и H_M для озимой пшеницы выражена еще более четко. Высота растений возрастает в среднем от 55 см при густоте 2,0 млн. ст/га до 105—106 см при густоте 9—10 млн. ст/га. Затем высота растений

понижается в среднем до 95 см при густоте 13 млн. ст/га. Эта зависимость выражается также уравнением параболы 3-й степени:

$$H_m = 17,4 + 22,26L_m - 1,755C_m^2 + 0,0373L_m^3. \quad (3.3)$$

Анализ данных агрометеорологических наблюдений показывает, что оптимальные условия для роста растений разных зерновых культур создаются при различной густоте их стеблестоя. Так, в частности, максимальная высота растений при прочих равных

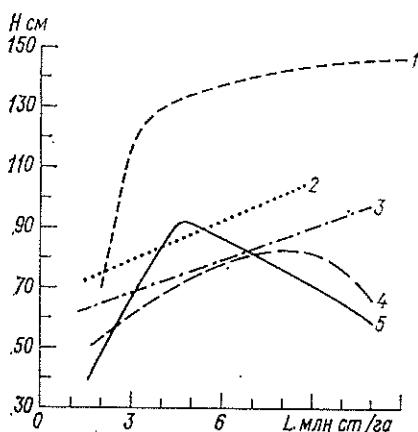


Рис. 3.5. Связь высоты растений в фазу молочной спелости H с густотой стеблей L .

1 — озимая рожь Харьковская 194;
2 — яровая пшеница Саратовская 36;
3 и 4 — яровой ячмень Винер и Майя соответственно; 5 — овес Победа.

условиях, например, в фазу молочной спелости у овса наблюдается при густоте 4,5—5 млн. ст/га, а для сортов озимой пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1 — при густоте около 9,5 млн. ст/га. Таким образом, при возделывании озимой пшеницы на зеленый корм, силос или сенаж требуется существенное увеличение норм посева семян на единицу площади.

Зависимость высоты растений от густоты стеблестоя наблюдается и для других культур. Форма же этой зависимости самая различная (рис. 3.5). Так, у озимой ржи Харьковская 194 в фазу молочной спелости высота растений монотонно возрастает от 70 см при густоте 2,0 млн. ст/га до 146 см при $L_m = 12,0$ млн. ст/га. Причем при густоте 2—4 млн. ст/га влияние плотности

стеблестоя на высоту растений проявляется очень сильно: она увеличивается в среднем на 60 см (с 70 до 130 см). При густоте более 4 млн. ст/га влияние плотности стеблестоя на рост растений озимой ржи Харьковская 194 проявляется значительно слабее: увеличение густоты на 1 млн. ст/га сопровождается увеличением высоты растений в среднем всего лишь на 2 см.

Для яровой пшеницы Саратовская 36 и ярового ячменя Винер зависимость высоты растений от густоты стеблестоя (в исследованных пределах) является линейной. С увеличением густоты на 1 млн. ст/га высота растений яровой пшеницы и ярового ячменя Винер увеличивается в среднем на 4,5 и 3,7 см соответственно.

Для ярового ячменя Майя и овса Победа зависимость высоты растений от густоты стеблестоя оказалась нелинейной. Высота растений ярового ячменя Майя возрастает от 50 см при редком стеблестое (1,6—1,7 млн. ст/га) в среднем до 83 см при $L_m = 8 \dots 8,5$ млн. ст/га, а затем с увеличением густоты стеблей до 11 млн. ст/га — снижается до 65 см.

Для овса Победа эта зависимость выражена более резко. Как видно из рис. 3.5, высота растений овса изменяется от 40 см при $L_M=1,6 \dots 1,7$ млн. ст/га до 92 см при густоте 4,8 млн. ст/га. В густых посевах в результате внутривидовой конкуренции рост растений овса Победа происходил значительно медленнее, чем в посевах относительно нормальной густоты. При $L_M=10,8 \dots 11,0$ млн. ст/га высота растений овса этого сорта достигала всего лишь 60 см.

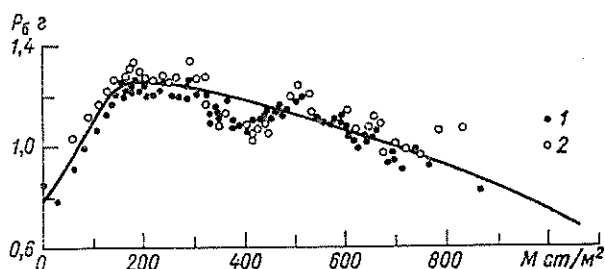


Рис. 3.6. Зависимость продуктивности колоса главного стебля озимой пшеницы P_6 от густоты растений M осенью.

1 — в фазу 3-го листа, 2 — перед уходом в зиму.

Таким образом, высота растений и их густота в агроценозе тесно взаимосвязаны. Изменение темпов роста растений в связи с плотностью посева влечет за собой изменение его геометрической структуры, и следовательно, фотосинтетического потенциала, что в свою очередь не может не отразиться на продуктивности растений.

Условимся продуктивность растений (стеблей) сельскохозяйственных культур подразделять на биологическую P_6 и хозяйственную P_x . Под *биологической* продуктивностью растения или отдельного стебля подразумеваем среднюю массу зерна одного растения или колоса (метелки) на корню и будем называть (здесь и в дальнейшем) просто продуктивностью растения (колоса, метелки), а под *хозяйственной* продуктивностью — среднюю урожайность зерна одного растения или стебля (колоса, метелки), полученную по хозяйственной урожайности с единицы площади (обычно с 1 га) и отнесенную к количеству растений или стеблей на этой единице площади.

Нами установлено существование зависимости продуктивности растений и стеблей от их густоты на ранних этапах развития. На рис. 3.6 и в табл. 3.3 приведена такая связь P_6 с густотой растений озимой пшеницы в фазу 3-го листа и после прекращения их вегетации осенью. Наибольшая продуктивность колоса наблюдалась на редких посевах осенью (150—350 раст/м²) (см. табл. 3.3). На очень редких посевах (<150 раст/м²), вероятно, из-за конку-

ренции с сорняками и на относительно густых посевах (>350 раст/м²) из-за внутривидовой конкуренции продуктивность колоса существенно меньше.

Влияние густоты стояния растений на их продуктивность значительно перекрывает сортовые различия продуктивности колоса озимой пшеницы и влияние агротехнического фона и, в частности, предшественников. Так, анализ материалов опытов Н. Е. Сотина

Таблица 3.3

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной густоты растений (относительно продуктивности колоса главного стебля) озимой пшеницы

Оценка густоты растений	Относительная продуктивность колоса, % продуктивности при оптимальной густоте растений	Количество растений на 1 м ² в фазу 3-го листа и при осеннем обследовании перед уходом посева в зиму
Недостаточная	<70	<30
Посредственная	70—90	30—115
Хорошая	90—95	115—150
Оптимальная	95—100—95	150—200—350
Хорошая	95—90	350—475
Повышенная	90—70	475—825
Избыточная	<70	>825

[115] с нормами посева озимой пшеницы показывает, что для двух сортов (Мироновская Юбилейная и Кавказ), посеянных как по занятому горохово-овсяной смесью (на сено) пару, так и после кукурузы на силос, связь продуктивности колоса P_6 с густотой продуктивных стеблей L_y выражается прямой

$$P_6 = 1,96 - 0,0021L_y.$$

Влияние плотности стеблестоя на их продуктивность было весьма значительным. При увеличении числа стеблей на 1 м² от 250 до 575 продуктивность колоса озимой пшеницы понизилась в среднем с 1,4 до 0,76 г, т. е. почти в 2 раза.

Аналогичное явление описывает Е. А. Прокудин [93] по данным опытов с интенсивными сортами озимой пшеницы Кавказ и Одесская 51. В своих выводах автор подчеркивает, что масса зерна одного колоса и плотность продуктивного стеблестоя связаны обратной зависимостью (коэффициент корреляции $R = -0,84$). Различие в продуктивности колоса этих сортов озимой пшеницы было относительно небольшим: в среднем от 1,14 г для сорта Кавказ и 0,92 г для сорта Одесская 51.

Описанные закономерности соблюдаются при отсутствии аномальных явлений. Если изреживание стеблестоя происходит от влияния каких-либо неблагоприятных экологических явлений, то эти воздействия также отрицательно влияют и на продуктивность колоса. Анализ показывает, например, что не вполне благополучная перезимовка озимой пшеницы заметно снижает продуктив-

ность колоса. В качестве объективного показателя степени благоприятности условий перезимовки озимых может служить относительная площадь поля (%) с погибшими и сильно изреженными местами (плешинами) [138].

С увеличением площади таких плешин после перезимовки от 3—5 до 30—35 и 55 % продуктивность колоса озимой пшеницы снижалась от 1,3 до 1,1 и 0,7 г соответственно.

В работе [140] получена зависимость продуктивности растений гречихи от их густоты. Так, если перед уборкой густота была 100 и менее растений на 1 м², то с каждых 10 растений получалось в среднем более 10 г зерна. Если же перед уборкой было 400 и более растений на 1 м², то с 10 растений получали в среднем 3 г зерна и менее. Коэффициент корреляции между фактической продуктивностью растений и рассчитанной по графику связи равен $R=0,56 \pm 0,035$. Однако, следует подчеркнуть, что на сильно засоренных и очень редких (<70—80 растений на 1 м²) посевах как гречихи, так и проса продуктивность растений заметно снижается.

Анализ зависимости урожайности продуктивных стеблей озимой ржи Вятка от их густоты в фазу молочной спелости и перед уборкой показывает, что и после прохождения молочной спелости стеблеотбор продолжается, причем в разные годы с разной интенсивностью. Редкие посевы сельскохозяйственных культур обычно сильно засорены. Следовательно, снижение продуктивности колоса на очень редких посевах связано с межвидовой конкуренцией. Снижение же продуктивности колоса, так же как и урожайности в целом посевов озимой пшеницы, озимой ржи и проса, с увеличением их густоты обуславливается внутривидовой конкуренцией растений. При этом чем гуще посев, тем жестче конкуренция растений в агроценозе. Озимая пшеница Мироновская 808 (сорт интенсивной продуктивности) очень выгодно отличается от озимой ржи (Вятка) и тем более проса (Багряное) очень высокой продуктивностью отдельных растений при большой их густоте.

Таким образом, в агроценозе густота посева играет ведущую роль. От плотности растений и стеблей сельскохозяйственных культур зависит их сохранность, высота и фотосинтетический потенциал, что в свою очередь обуславливает продуктивность растений и в конечном счете урожайность зерна.

3.4. Густота посева и урожайность

Растения зерновых культур являются материальными создателями и носителями урожайности зерна. Зависимость урожайности зерна сельскохозяйственных культур от густоты травостоя динамична во времени как по форме, так и по тесноте связи. На рис. 3.7 представлена зависимость урожайности озимой пшеницы от густоты растений и стеблей в разные фазы развития. Видно, что форма связи в течение вегетации меняется, гармонический оптимум густоты (относительно урожайности), а также интервалы недостаточной и избыточной плотности растений и стеблей в агроце-

Из сравнения данных табл. 3.4 и 3.5 видно, что optimum густоты продуктивного стеблестоя для условий агротехники Госсортосети составляет 600—800 пр. ст/м², что выше, чем для условий агрофона колхозов и совхозов, где этот optimum составляет 475—775 пр. ст/м². Густота продуктивных стеблей менее 530 пр. ст/м²

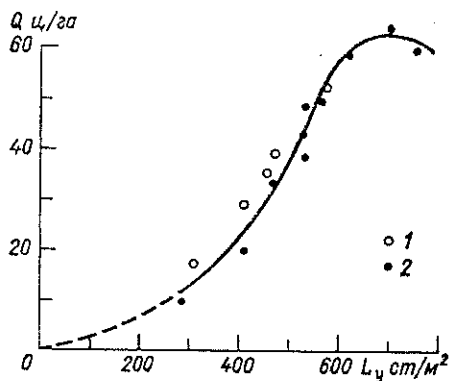


Рис. 3.8. Зависимость урожайности Q озимой пшеницы Мировская 808 от густоты продуктивных стеблей перед уборкой урожая L_y (данные Госсортосети).

1 — Белорусская ССР (по [105]), 2 — Центральные нечерноземные области (по [124]).

является недостаточной, так как при этом относительная урожайность составляет менее 70 % от ее значения при оптимальной густоте. Для рядовых хозяйств недостаточной является густота менее 370 продуктивных стеблей на 1 м² (см. табл. 3.4).

Таблица 3.5

Критерии оптимальности (относительно урожайности) густоты озимой пшеницы Мировская 808. По данным ГСУ Белорусской ССР [105] и Центральных нечерноземных областей [124]

Оценка густоты травостоя	Относительная урожайность, % урожайности при оптимальной густоте	Количество продуктивных стеблей на 1 м ² перед уборкой
Недостаточная	70	530
Посредственная	70—90	530—585
Субоптимальная (хорошая)	90—95	585—600
Оптимальная	95—100—95	600—700—800

В табл. 3.6 представлена динамика критериев оптимальности (относительно урожайности) густоты посевов овса. Так же как и у озимой пшеницы, эти критерии в течение вегетации сильно меняются. Optimum густоты постепенно снижается от 1300 ст/м² в начале выхода растений в трубку до 1100 ст/м² в фазу колошения; к моменту уборки optimum оказывается равным около 500 ст/м². Таким образом, optimum густоты стеблестоя за период

Таблица 3.6

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной (относительно урожайности) густоты растений и стеблей овса в разные фазы развития

Оценка густоты стеблестоя	Относительная урожайность, % урожайности при оптимальной густоте	Количество растений и стеблей на 1 м ²			
		3-й лист	Выход в трубку	Колошение	Перед уборкой
		растения	стебли	стебли	продуктивные стебли
Недостаточная	<70	<290	<725	<450	<230
Посредственная	70—90	290—360	725—1100	450—660	230—330
Хорошая	90—95	360—400	1100—1200	660—725	330—365
Оптимальная	95—100—95	400—410—440	1200—1300—?	725—1100—1350	365—510—665
Хорошая	95—90	440—465	—	1350—1450	665—690
Повышенная (по- средственная)	90—70	465—650	—	1450—1600	690—775
Избыточная	<70	>650	—	>1600	>775

от выхода растений овса в трубку до уборки уменьшается примерно в 2,5 раза, т. е. за этот период «сбрасывается» (отмирает) около 60 % стеблей. Наибольший урожай овса обеспечивается при густоте всходов 400—440 раст/м², которые должны раскуститься до трех стеблей. Такое количество стеблей обеспечивает накопление достаточного количества пластических веществ и их перемещение в главный стебель при отмирании к моменту созревания урожая.

Наибольший урожай озимой пшеницы наблюдается при более высокой, чем у овса, плотности всходов — от 450 до 710 раст/м² (см. табл. 3.4). Гречиха и просо наибольший урожай дают при плотности всходов примерно в 2 раза меньшей, чем у озимой пшеницы (табл. 3.7).

Из сравнения критериев оптимальности густоты растений ранних яровых зерновых культур и озимой пшеницы в фазу колошения (см. табл. 3.4 и 3.7) видно, что оптимальные густоты стеблестоя яровой и озимой пшеницы оказались довольно близкими между собой (соответственно 850 и 875 пр. ст/м²) и значительно ниже, чем у овса и ячменя (соответственно 1100 и 1450 пр. ст/м²).

Из данных табл. 3.4 и 3.7 также видно, что гармонический оптимум густоты растений осенью и весной у озимой пшеницы и озимой ржи одинаков (600 раст/м²). Однако интервалы оптимальности густоты растений озимой ржи, как более пластичной к внешним факторам культуры по сравнению с озимой пшеницей, колеблются в более широких пределах. Так, по данным агрометеорологических станций, густота растений озимой пшеницы относится к категории оптимальной и субоптимальной (урожайность 90—100—90 % от ее значения при оптимальной густоте), если осенью будет произрастать 375—600—775 раст/м², а весной — 375—600—700 раст/м². У озимой ржи к этой категории относится густота соответственно 350—600—825 и 350—600—875 раст/м².

Густота растений озимой пшеницы и озимой ржи оказывается недостаточной (урожайность менее 70 % от ее значения при оптимальной густоте), если осенью и весной густота составляет менее 225 раст/м² (см. табл. 3.6 и 3.7). Такая ситуация может создаваться осенью из-за низкой нормы высева семян или из-за низкого их качества (плохой всхожести, высокой засоренности и др.) или из-за неполноты всходов в связи с неблагоприятными метеорологическими условиями (холодная почва, засуха, переувлажнение и др.), весной — из-за неблагоприятных условий перезимовки (вымерзание, выпревание, вымокание и др.).

Агрометеорологический аспект перезимовки озимых зерновых культур подробно рассмотрен В. А. Моисейчик [74]. Мы коснемся лишь последствий влияния неблагоприятных условий перезимовки на урожайность озимых культур. В качестве показателя степени неблагоприятности условий перезимовки озимых культур на конкретном поле возьмем площадь S_p (% поля с погибшими или сильно изреженными после перезимовки растениями). Вполне понятно, что между урожайностью и величиной S_p существует

Таблица 3.7

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной (относительно урожайности) густоты травостоя яровой пшеницы, ярового ячменя и овса в фазу колошения (выметывания) гречихи и проса в момент полных всходов, озимой ржи (перед зимовкой и при возобновлении вегетации весной)

Оценка густоты травостоя	Относительная урожайность, % урожайности при оптимальной густоте	Число стеблей на 1 м ²			Число растений на 1 м ²			
		Яровая пшеница	Яровой ячмень	Овес	Гречиха (по данным [140])	Просо	Озимая рожь	
							осенью	весной
Недостаточная	<70	<450	<575	<450	<165	<120	<225	<225
Посредственная	70—90	450—600	575—950	450—660	165—200	120—185	225—350	225—350
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	600—850—1075	950—1450—1675	660—1100—1450	200—240—315	185—350	350—600—825	350—600—875
Повышенная	90—70	1075—1200	1675—?	1450—1600	315—455	—	825—950	875—1150
Избыточная	<70	>1200	—	>1600	>455	—	>950	>1150

определенная связь. Это можно проиллюстрировать на примере с озимой пшеницей Мироновская 808 (рис. 3.9).

Как видно на рис. 3.9, урожайность зерна озимой пшеницы снижается с 40 ц/га при отсутствии на поле плешин ($S_v \rightarrow 0$) до 13 ц/га при $S_v = 60\%$ площади поля. Безусловно, что на урожайности озимой пшеницы (как и других озимых культур) сказыва-

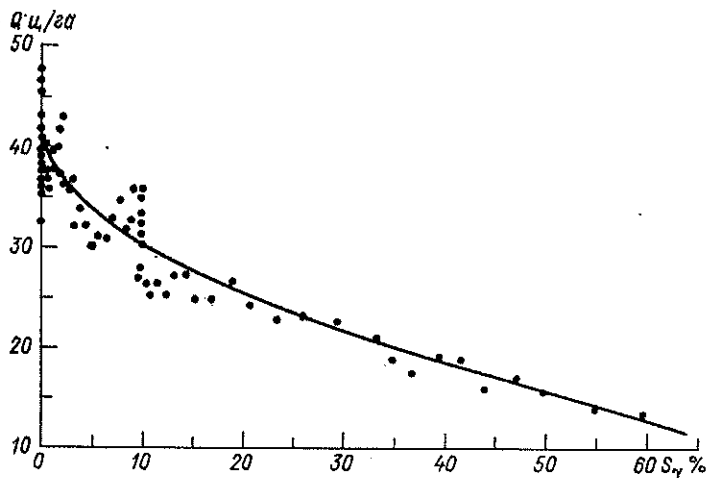


Рис. 3.9. Зависимость урожайности Q озимой пшеницы Мироновская 808 от площади поля S_v с погибшими растениями и сильно изреженными местами.

ются и последующие после перезимовки условия (о чем, кстати сказать, говорит большой разброс точек на рис. 3.9). Однако указанная зависимость урожайности озимой пшеницы проявляется четко. Она оценивается значимым коэффициентом корреляции между фактической и рассчитанной по графику урожайностью: $R_{Q, q(S_v)} = 0,49 \pm 0,091$. Это позволяет (в первом приближении) на основе полученной зависимости и с учетом критериев В. А. Моисейчик [74] наметить шкалу оценки условий перезимовки озимой пшеницы с целью их учета при определении состояния посевов и мероприятий по уходу за ними (табл. 3.8).

Очевидно, что при нормальных условиях перезимовки, когда выпадение растений находится в пределах естественного и площадь плешин не превышает 10 %, мероприятия по уходу за озимыми посевами должны быть стандартными (обычными плановыми). В этом случае урожайность (при прочих равных условиях) следует ожидать более 75 % от ее значения на посевах без гибели, что для пшеницы сорта Мироновская 808 соответствует в среднем 30 ц/га и более.

При удовлетворительных условиях перезимовки, когда S_v составляет от 10 до 30 % площади поля, должен быть организован

тщательный уход за озимыми посевами. В частности, весеннее боронование посевов надо проводить при физической спелости почвы, а подкармливать озимые минеральными удобрениями следует весной с учетом их развития.

При плохих условиях перезимовки, когда наблюдается значительная изреженность озимых посевов (30—50 % площади поля занимают плешины), следует произвести подсев ранними яровыми

Таблица 3.8

Оценка условий перезимовки посевов озимой пшеницы в зависимости от их изреженности

Условия перезимовки	Изреженность		Ожидаемая урожайность	
	характеристика	площадь поля с погубшими и сильно изреженными растениями, %	% от ее значения при отсутствии изреженности	ц/га для сорта Мироновская 808
Нормальные	Отсутствует или слабая	>10	>75	>30
Удовлетворительные	Небольшая	10—30	75—55	30—22
Плохие	Значительная	30—50	55—40	22—16
Очень плохие	Очень большая	<50	<40	<16

зерновыми культурами, в частности яровым ячменем (50—75 % нормы высева). В противном случае можно ожидать низкую урожайность — около 40—55 % от ее значения на посевах без гибели растений. Для пшеницы Мироновская 808 это соответствует урожайности в среднем 16—22 ц/га.

При очень плохих условиях перезимовки, когда изреженность больше 50 % площади поля, урожайность будет низкой и такие поля целесообразно пересевать поздними (теплолюбивыми) яровыми культурами.

Таким образом, сохранность и изреженность посевов зерновых культур, высота растений и, очевидно, надземная фитомасса, а следовательно, и фотосинтетический потенциал, продуктивность растений и урожайность в агроценозе сложнейшим образом связаны с плотностью посева, густотой растений и стеблей, и знание этих ценотических связей представляет большой практический интерес для объективной оценки состояния агроценоза.

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ ВЫСОТЫ РАСТЕНИЙ

4.1. Высота растений и ее изменчивость

Высота растений и связанная с ней надземная масса являются важными характеристиками агроценоза. Они успешно используются в целом ряде агрометеорологических прогнозов [101 и др.] и наряду с другими, естественно, вполне применимы в качестве объективных показателей состояния посевов сельскохозяйственных культур.

Известно, что в начальный период вегетации зерновых культур линейный рост растений в высоту происходит медленно, затем в период стеблевания скорость линейного роста достигает максимума, а после выколашивания рост растений заметно замедляется и приостанавливается.

Вполне понятно, что высота растений в связи со значительными различиями условий произрастания имеет определенные закономерные изменения не только во времени, но и в пространстве, что, в свою очередь, увеличивает изменчивость продуктивности растений на поле.

В табл. 4.1 в качестве примера приводятся средняя высота растений озимой пшеницы двух сортов и показатели изменчивости в разные фазы развития этих культур. Из данных таблицы видно, что осенью и весной до фазы колошения средняя высота растений озимой пшеницы сортов Мироновская 808 и Безостая 1 существенно не различается. К фазе молочной спелости различия высоты растений этих сортов достигали в среднем 14 см. Характерно, что относительная изменчивость высоты растений озимой пшеницы, обусловленная условиями произрастания, в осенний период существенно больше, чем после начала колошения: коэффициент вариации составил соответственно 32—44 % и 21—24 % (см. табл. 4.1). В процессе вегетации растения становятся все более выровненными по высоте. Аналогичное явление имеет место и для озимой ржи.

Известно, что линейный рост растений необратим и обладает определенной инерционностью. Условия произрастания растений предшествующего периода в той или иной степени влияют на скорость их роста в последующие периоды. Поэтому уже на ранних этапах жизни растений, зная их высоту, можно иметь представления о состоянии посева. В частности, прослеживается довольно четкая связь между значениями высоты растений озимой пшеницы

Мироновская 808 в фазу 3-го листа и перед уходом в зиму (через 10 дней после прекращения вегетации). Так, если фаза 3-го листа наступает при небольшой высоте (5—6 см), то к концу осени посеы будут низкорослыми (7—8 см). По мере увеличения высоты растений в фазу 3-го листа монотонно растут и их высота к моменту прекращения вегетации с 7—8 до 30—32 см. При высоте растений в фазу 3-го листа 17—18 см к концу осени посеы становятся переросшими (30—32 см).

Таблица 4.1

Статистические характеристики высоты растений H (см) озимой пшеницы в разные фазы развития

Фаза развития	Мироновская 808 (90 случаев)			Безостая 1 (112 случаев)		
	$\bar{H} \pm e$	σ_H	Коэффициент вариации	$\bar{H} \pm e$	σ_H	Коэффициент вариации
3-й лист	10,5±0,35	3,36	0,32	11,9±0,37	3,90	0,33
Прекращение вегетации растений осенью	13,9±0,65	6,17	0,44	14,0±0,50	5,33	0,39
Колошение	62,9±1,56	14,98	0,24	61,5±1,42	15,03	0,24
Молочная спелость	94,1±2,30	21,76	0,23	80,1±1,70	18,03	0,23

Примечание. Ошибка e средней величины $\bar{H}$ рассчитана по формуле $e = \sigma_H / \sqrt{N}$, где N — число случаев в выборке.

Аналогичное явление наблюдается в репродуктивный период. В табл. 4.2 представлены уравнения корреляционной связи значений высоты растений перед уборкой (в интервале наблюдавшихся изменений) и в начале колошения озимой ржи и ярового ячменя и выметывания метелки овса. Уравнения получены по результатам наблюдений на метеорологических станциях. Связь между измеренной перед уборкой высотой растений и рассчитанной по данным измерений в начале колошения (выметывания) относительно тесная: коэффициенты корреляции для рассматриваемых культур оказались равными 0,48—0,63. Для овса и ярового ячменя эта связь (в исследованном интервале высот) линейная. На низкорослых в начале колошения посевах озимой ржи Вятка в последующий период наблюдался более интенсивный рост растений по сравнению с высокорослыми.

Известно, что с высотой растений сельскохозяйственных культур связаны размеры фотосинтезирующей поверхности, и следовательно, продуктивность и урожайность посевов. Кроме того, от высоты растений зависят также темпы кущения растений и их сохранность.

Таблица 4.2

Уравнения связи высоты растений (см) колосовых культур в начале колошения (выметывания) H_K и перед уборкой H_y

Культура, сорт	Число наблюдений	H_K см	Уравнение связи	Номер уравнения	Коэффициент корреляции R между фактической высотой H_y и рассчитанной по уравнению
Озимая рожь Вятка	280	35—165	$H_y = 190 - \frac{3000}{H_K}$	(4.1)	$0,49 \pm 0,045$
Яровой ячмень Винер	135	30—95	$H_y = 0,91 H_K + 19$	(4.2)	$0,48 \pm 0,066$
Овес Золотой дождь	90	30—85	$H_y = 0,67 H_K + 46$	(4.3)	$0,63 \pm 0,064$

4.2. Высота растений и их сохранность

Известно, что темпы кушения и высота растений зависят от ряда факторов (температуры, влажности, уровня почвенного плодородия и др.), действие которых направлено на рост и развитие растений. Поэтому вполне понятна взаимосвязь между линейными размерами растений и их кустистостью. У озимых зерновых культур интенсивно растущие всходы создают предпосылки для более энергичного кушения растений в осенний период.

Если высота всходов озимой пшеницы Мироновская 808 составляет 5—6 см, что характерно для слишком поздних посевов, когда растения произрастают в условиях пониженного температурного режима, то такие растения прекращают вегетацию нераскутившимися. Если же в фазу 3-го листа высота растений достигает 15 см и более, что характерно для слишком ранних посевов, когда растения произрастают в условиях достаточного увлажнения и повышенной температуры, то озимая пшеница прекращает вегетацию сильно раскутившейся. В этом случае каждое растение имеет в среднем по 2,5—3 и более стеблей.

На рис. 4.1 представлена зависимость площади поля S_y весной с погибшими растениями озимой пшеницы Мироновская 808 от высоты растений осенью (при появлении 3-го листа и прекращении вегетации). Коэффициенты корреляции между фактической площадью S_{yf} и рассчитанной S_{yp} по графику рис. 4.1 с использованием данных о высоте в фазу 3-го листа и в момент прекращения вегетации оказались равными соответственно: $R_{3л} = 0,53 \pm 0,091$ и $R_{пв} = 0,66 \pm 0,054$.

Высота растений перед уходом посевов в зиму является одной из характеристик, отражающих их зимостойкость. Как видно из рис. 4.1, озимая пшеница благополучно зимует ($S_y \leq 10\%$) в том случае, если высота растений ко времени прекращения их вегета-

ции не превышает 15 см. Если эта высота осенью достигает 16—23 см, то площадь плешин с погибшими растениями возрастает к весне от 10 до 30 %, а когда она превышает 23 см, гибель растений весной наблюдается на значительной площади поля.

Корреляционная связь высоты растений $H_{\text{пв}}$ озимой пшеницы ко времени прекращения их вегетации осенью с высотой в фазу

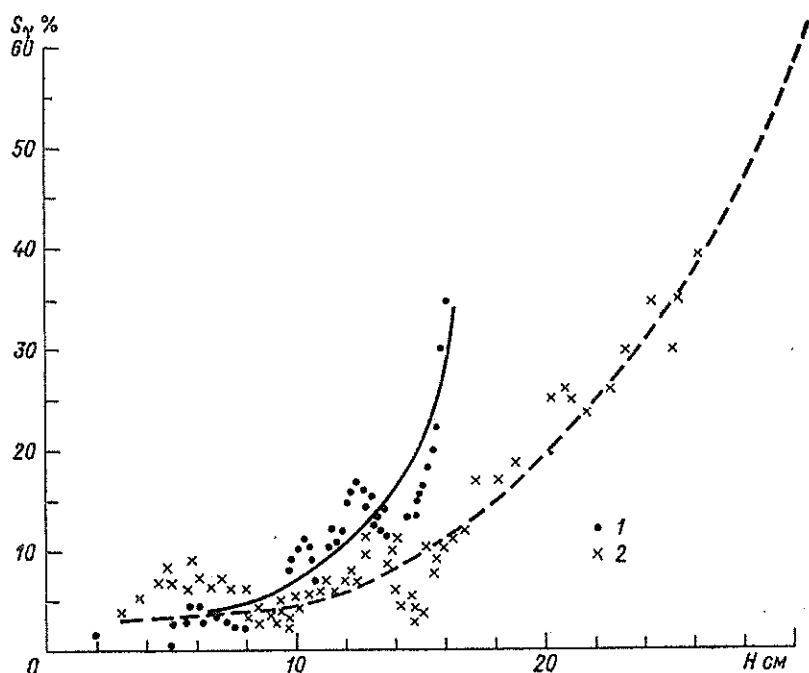


Рис. 4.1. Зависимость площади поля S_N с погибшими растениями озимой пшеницы Мироновская 808 весной от высоты растений H в фазы 3-го листа (1) и прекращения вегетации растений осенью (2).

3-го листа позволяет уже в фазу 3-го листа ориентировочно судить о сохранности посева озимой пшеницы в зимний период. При высоте растений в фазу 3-го листа $H_{3л}=12$, 12—15 и 15 см гибель растений составляет соответственно <10 , 11—30 и >30 % площади поля. В последнем случае озимые поля должны быть подсеяны семенами ярового ячменя или даже пересеяны.

С высотой растений озимой пшеницы осенью связана сохранность посевов не только в период их перезимовки. Такая связь прослеживается до самой уборки. На рис. 4.2 показана зависимость количества сохранившихся и ставших продуктивными стеблей в течение зимне-весенне-летнего периода произрастания озимой пшеницы от высоты растений в момент прекращения их вегетации осенью. Наилучшая сохранность стеблей к уборке озимой

пшеницы наблюдается на тех посевах, высота которых к концу осени оказывалась равной в среднем 5—7 см. Высота растений $H_{пв} < 4$ см и $H_{пв} > 12$ см является соответственно недостаточной и избыточной. В том и другом случае сохранность составила в среднем $< 70\%$ сохранности при гармоническом оптимуме высоты растений в момент прекращения их вегетации осенью.

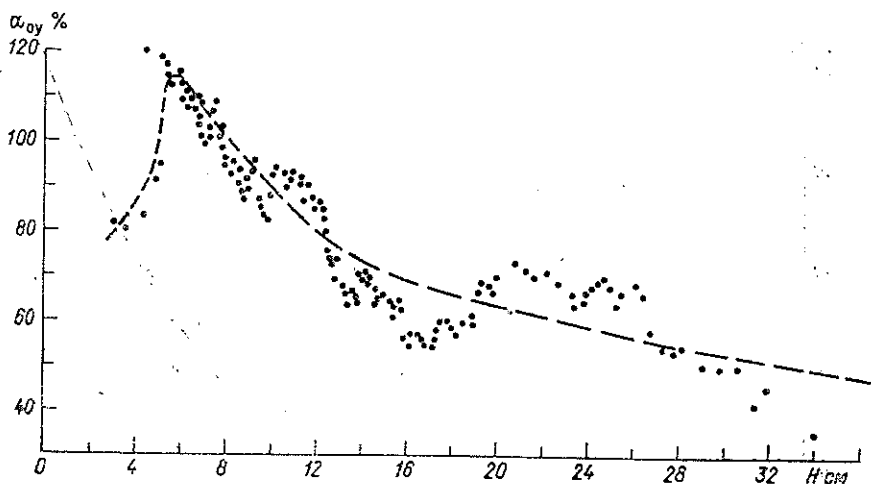


Рис. 4.2. Связь сохранности стеблей $\alpha_{оу}$ озимой пшеницы в период от прекращения вегетации растений осенью до уборки урожая с высотой растений в начале этого периода H .

Из сопоставления рис. 4.1 и 4.2 видно, что при высоте растений ко времени прекращения их вегетации $H_{пв} = 26 \dots 27$ см изреженность посева озимой пшеницы весной составляет около 40% площади поля, при этом ко времени уборки урожая сохраняется около 60% осенних стеблей. При такой изреженности озимая пшеница весной чаще всего пересеивается яровой культурой.

Таким образом, высота растений осенью является объективным показателем для количественной оценки темпов кушения озимых осенью и сохранности растений в течение зимне-весенне-летнего периода их вегетации.

4.3. Продуктивность и высота растений

Известно, что интенсивность продукционного процесса, наряду с энергетическими ресурсами и ресурсами элементов питания, обуславливается фотосинтетическим потенциалом посева. К сожалению, такие измерения на агрометеорологических станциях программой не предусмотрены и соответствующие материалы отсутствуют. Площадь фотосинтезирующей поверхности растений связана с их линейными размерами. Поэтому с высотой — одним из объективных показателей состояния растений — прослежива-

ется определенная связь элементов структуры урожая сельскохозяйственных культур и их продуктивности. У озимых зерновых культур подготовка к дифференциации колоса начинается еще осенью и от размеров растения зависит количество образуемых весной колосков в колосе.

Так, на рис. 4.3 (кривая 1) показана зависимость количества колосков в колосе озимой пшеницы в фазу появления нижнего узла соломины над поверхностью почвы весной от высоты расте-

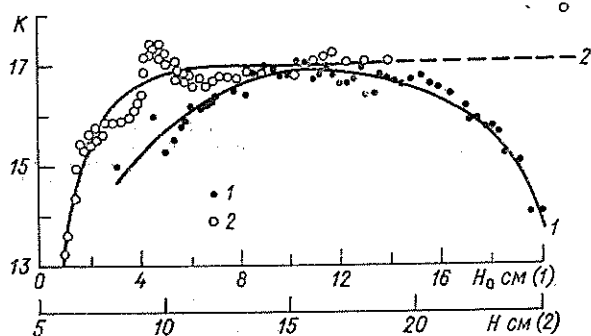


Рис. 4.3. Связь количества колосков в колосе K главного стебля озимой пшеницы Мироновская 808 при появлении нижнего узла соломины с высотой растений H .

1 — при прекращении вегетации осенью, 2 — при появлении нижнего узла соломины.

ний в момент прекращения их вегетации осенью. Измерения высоты выполнялись от поверхности почвы до конца листа, возвышающегося над другими листьями растения, если их приложить в выпрямленном состоянии к вертикально поставленной рейке [80]. Из рис. 4.3 видно, что у низкорослых к концу осени растений (<5 см) весной в колосе озимой пшеницы закладывается в среднем 15 колосков. С увеличением высоты растений осенью количество заложенных колосков в колосе несколько возрастает (в среднем до 17). Затем кривая связи переходит в обширное плато при субоптимальных значениях высоты растений перед перезимовкой. На переросших с осени посевах озимой пшеницы весной колосков в колосе закладывается меньше (около 14). Кривая связи числа колосков в колосе главного стебля озимой пшеницы при появлении нижнего узла соломины с высотой растений, измеренной в эту же фазу до отгиба верхнего листа в соответствии с [80] (в пределах от 6 до 26 см), оказалась монотонно возрастающей (рис. 4.3, кривая 2).

Низкорослые растения и в этом случае закладывают весной очень малое количество колосков в колосе. С увеличением высоты растений от 6 до 9—10 см количество закладываемых колосков

в колосе озимой пшеницы в среднем возрастало с 13 до 17. Для более высокорослых посевов кривая связи выходила за плато.

С высотой растений связана озерненность колосьев и метелок, о чем свидетельствуют результаты наблюдений за овсом. Так, на очень низкорослых посевах овса Победа, растения которых в фазу выметывания метелки имели высоту 9—10 см, к моменту уборки урожая у каждого главного стебля образовывалось около 14 зерен, а на высокорослых посевах с высотой растений 90—95 см

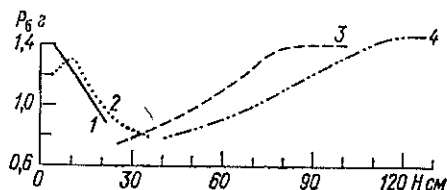


Рис. 4.4. Зависимость продуктивности колоса P_b озимой пшеницы от высоты растений H .

1 — в фазу 3-го листа, 2 — на момент прекращения вегетации растений осенью, 3 — в фазу колошения, 4 — при молочной, восковой и полной спелости.

у каждого главного стебля образовывалось в среднем по 50 зерен и более. Вполне естественно, что по высоте растений, отражающей предшествующие условия произрастания и состояния растений, можно судить о конечной продуктивности метелок овса. Связь продуктивности растений овса с высотой растений в исследованных пределах является линейной и выражается формулами

$$P_b = 0,0178H_k \quad \text{при } H_k \leq 95 \text{ см}, \quad (4.4)$$

$$P_b = 0,0125H_y \quad \text{при } H_y \leq 135 \text{ см}. \quad (4.5)$$

Здесь P_b — продуктивность стеблей, или средняя масса зерна одной метелки, г; H_k и H_y — соответственно высота растений в фазу колошения и перед уборкой. Коэффициенты корреляции между фактической продуктивностью и продуктивностью, рассчитанной по формулам (4.4) и (4.5) по данным о высоте растений, оказались относительно высокими: соответственно $R = 0,70 \pm 0,090$ и $R = 0,74 \pm 0,084$.

На рис. 4.4 представлена зависимость продуктивности колоса озимой пшеницы от высоты растений осенью, в фазу колошения и в период налива и созревания зерна. Как видно из рис. 4.4, связь массы зерна одного колоса P_b с высотой растений в фазу 3-го листа $H_{3л}$ оказалась обратной (монотонно убывающей), близкой к прямолинейной. Эту зависимость можно выразить формулой

$$P_b = 1,51 - 0,029H_{3л}. \quad (4.6)$$

Коэффициент корреляции между фактической продуктивностью колоса озимой пшеницы и рассчитанной по формуле (4.6) относительно низкий: $R = 0,26 \pm 0,070$. В интервале высоты растений в фазу 3-го листа от 4 до 21 см масса зерна одного колоса озимой пшеницы понижается в среднем от 1,4 до 0,9 г. Таким образом, колос у низкорослых растений в фазу 3-го листа более продуктивен, чем у высокорослых.

Связь массы зерна одного колоса P_6 с высотой растений $H_{\text{пл}}$ в момент прекращения их вегетации оказалась более сложной (кривая имеет один максимум). В интервале высоты растений перед уходом в зиму от 4 до 10 см продуктивность колоса P_6 перед уборкой озимой пшеницы несколько возрастает (в среднем от 1,2 до 1,3 г). На более высокорослых к концу осени посевах продуктивность колоса озимой пшеницы довольно резко снижается: при

Таблица 4.3

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной высоты посева (относительно биологической продуктивности колоса главного стебля) озимой пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1 в разные фазы развития

Высота растений	Относительная биологическая продуктивность колоса, % продуктивности при оптимальной высоте растений	Высота растений в фазы развития, см			
		3-й лист	прекращение вегетации растений осенью	колоше-ние	молочная, восковая и полная спелости
Недостаточная	<70	—	—	<50	<75
Посредственная	70—90	—	—	50—70	75—100
Хорошая	90—95	—	<6	71—75	101—108
Оптимальная	95—100—95	4—6	7—10—12	76—90—?	109—120—?
Хорошая	95—90	7—9	13—14	—	—
Большая	90—70	10—19	15—24	—	—
Избыточная	<70	>19	>24	—	—

$H_{\text{пв}}=35$ см $P_6 \approx 0,8$ г. Зависимость P_6 от высоты растений в фазу колошения H_K и в фазы созревания зерна H_c (молочная, восковая и полная спелости), когда закончен линейный рост растений, выражается подобными монотонно возрастающими кривыми. В частности, у низкорослых посевов озимой пшеницы при $H_c \approx 40$ см масса зерна одного колоса оказалась равной около 0,8 г, у высокорослых ($H_c=115 \dots 125$ см) — почти в 2 раза больше (1,45 г).

Коэффициенты корреляции между фактической массой зерна одного колоса и рассчитанной с помощью кривых 2—4 рис. 4.4 по величинам $H_{\text{пв}}$, H_K и $H_{\text{мс}}$ оказались соответственно равными: $R=0,51 \pm 0,056$; $R=0,61 \pm 0,048$ и $R=0,70 \pm 0,037$.

Таким образом, наибольшая продуктивность колоса озимой пшеницы наблюдается в том случае, когда низкорослые посевы осенью к началу репродуктивного периода (начиная с фазы колошения) становятся высокорослыми (табл. 4.3). Как видно из данных табл. 4.3, на переросших осенью посевах (высотой в фазу 3-го листа и в конце осени соответственно более 19 и 24 см) масса зерна одного колоса не превышает 70 % от ее значения при гармоническом оптимальном высоте растений. Аналогичная продуктивность колоса наблюдается и на низкорослых в репродуктивный период посевах, когда высота растений в фазу колошения и при формировании зерна не достигает соответственно 50 и 75 см.

Сравнивая коэффициенты корреляции между фактической массой зерна одного колоса и рассчитанной по высоте растений в разные фазы развития озимой пшеницы, видно, что связь этих величин по мере старения растений становится теснее, следовательно, достоверность количественных оценок состояния озимой пшеницы по высоте растений относительно продуктивности колоса начиная с фазы 3-го листа и до уборки увеличивается.

4.4. Зависимость урожайности зерна от высоты растений

Высота растений, измеренная в фазы колошения и молочной спелости, широко используется в качестве предиктора в уравнениях множественной корреляции при прогнозе урожайности пшеницы (озимой и яровой) ярового ячменя и овса [101]. Высота растений учитывается также при количественной оценке состояния посевов кукурузы, льна и подсолнечника [80].

Исследования показали [137], что у зерновых культур связь урожайности зерна, так же как и продуктивности колоса (метелки), с высотой растений четко проявляется в течение всего периода их активной вегетации и поэтому может быть использована для количественной оценки состояния посевов озимой ржи, озимой и яровой пшеницы, ярового ячменя и овса.

Зависимость урожайности зерновых от высоты растений, особенно от высоты в начальные фазы развития, достаточно сложная.

Урожайность зерна посевов озимой пшеницы, низкорослых в фазу 3-го листа (около 5 см), составляла в среднем 27,5 ц/га. Посевы же с высотой в эту фазу около 8 см давали максимальную урожайность (около 37,5 ц/га), сильнорослые посевы (18—19 см) — очень низкую урожайность (<10 ц/га). Аналогичная, но более четко выраженная связь урожайности озимой пшеницы отмечается с высотой растений перед уходом в зиму $H_{пв}$. Так, при $H_{пв}=9 \dots 10$ см урожайность озимой пшеницы была максимальной (в среднем 44 ц/га). Урожайность низкорослых посевов ($H_{пв} \approx 4$ см) оказалась почти в 2 раза, а переросших ($H_{пв} > 32$ см) — более чем в 4 раза ниже указанной урожайности.

Таким образом, судя по рассмотренной закономерности, гармонический оптимум высоты растений озимой пшеницы Мироновская 808 в фазу 3-го листа равен в среднем 8 см, а при прекращении их вегетации — 9—10 см. Соответственно высота растений озимой пшеницы Мироновская 808 — 7—10 и 8—11 см является субоптимальной (табл. 4.4). При высоте растений <5 см в фазу 3-го листа и <7 см при прекращении вегетации осенью, что характерно для поздних сроков посевов, урожайность озимой пшеницы была низкой — менее 70 % урожайности при гармоническом оптимуме высоты растений. Такую же урожайность дают и переросшие осенью посевы с высотой растений >13—14 см (см. табл. 4.4), что характерно для слишком ранних, а иногда (при продолжительной теплой осени) и нормальных календарных сроков сева. Снижение урожайности переросших осенью посевов озимой пшеницы обус-

ловливается снижением зимостойкости растений и, как правило, повышенной изреженностью весной (см. рис. 4.2). Очевидно, при таких ситуациях высокую эффективность давала бы предпосевная обработка семян ретардантами (в частности, для озимой пшеницы хлорхлинхлоридом), которые, снижая рост растений, повышают их зимостойкость и засухоустойчивость.

Таблица 4.4

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной высоты посева (относительно урожайности) озимой пшеницы в разные фазы развития

Высота растений	Относительная урожайность, % урожайности при оптимальной высоте растений	Высота растений в фазы развития, см				
		3-й лист	перед уходом посева в зимовку	колошение	цветение	молочная, восковая и полная спелость
Недостаточная	<70	<5	≤7	<55	<67	<78
Посредственная	70—90	5—7	7—8	55—75	67—80	78—89
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	7—8—10	8—9—11	75—110—?	80—110—?	89—100—127
Большая	90—70	10—13	11—14	—	—	127—138
Избыточная	<70	>13	>14	—	—	>138

По высоте растений осенью можно судить о продуктивности стеблей, сохранившихся ко времени возобновления вегетации весной и уборки урожая. Для выявления такой закономерности урожайность (ц/га) озимой пшеницы Мироновская 808 была приведена к одинаковой густоте стеблей после возобновления вегетации и перед уборкой урожая.

Графики связи этих величин с высотой растений при прекращении их вегетации осенью представлены на рис. 4.5. Как видно из рисунка, урожайность зерна 1 млн. стеблей озимой пшеницы Мироновская 808, сохранившихся после их перезимовки, у низкорослых осенью посевов (высотой 4—6 см) в 8—9 раз выше, чем у высокорослых с высотой растений перед зимовкой более 27—28 см (соответственно 8—9 и 1,0—1,5 ц/млн. стеблей). Связь урожайности 1 млн. стеблей, сохранившихся ко времени уборки, с высотой растений перед зимовкой более сложная и по виду аналогична связи с этим показателем урожайности зерна с 1 га. У переросших осенью посевов урожайность 1 млн. стеблей, сохранившихся к уборке, была в среднем в 3 раза меньше урожайности при гармоническом оптимуме высоты растений (9—10 см).

В Руководстве [101] приведены многочисленные уравнения множественной корреляционной связи урожайности с высотой растений в фазу колошения и другими агрометеорологическими факторами для отдельных областей и регионов и локально используемых при составлении прогнозов урожайности зерновых культур (ржи, пшеницы, ячменя, овса). Однако анализ этих уравнений,

где в качестве предиктора наряду с другими факторами включена высота растений, показал, что их использование для количественной оценки состояния посевов зерновых культур при колошении (выметывании) растений по ряду причин не представляется возможным. Если рассматривать зависимость урожайности колосовых культур от высоты растений в начале фазы колошения (выме-

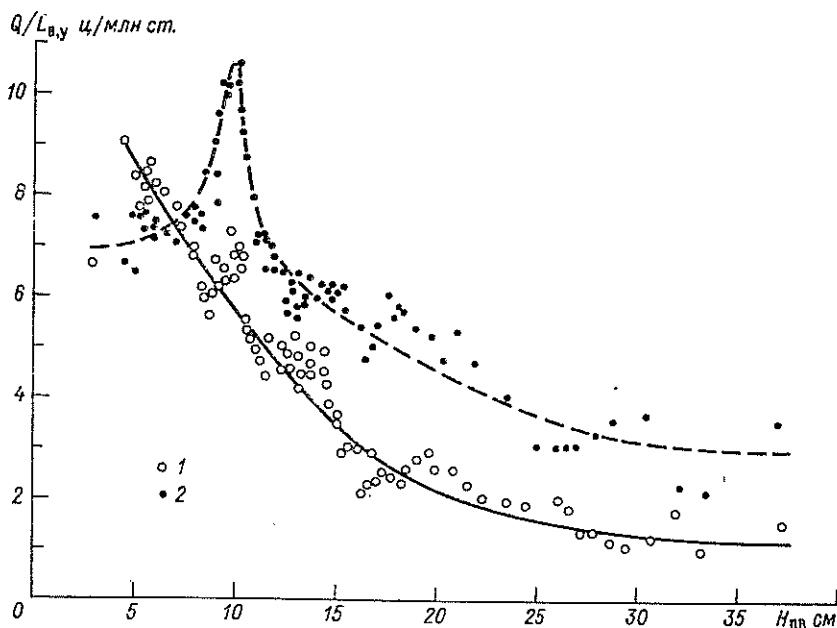


Рис. 4.5. Урожайность $Q/L_{в,у}$, приходящаяся на 1 млн весенних (1) и созревших к уборке (2) стеблей озимой пшеницы Мироновская 808 в зависимости от высоты растений на момент прекращения их вегетации осенью $H_{пв}$.

тывания) без учета сортовых различий, то эту связь (в исследованных пределах H_K) можно выразить линейным уравнением

$$Q = aH_K, \quad (4.7)$$

где a — коэффициент пропорциональности (табл. 4.5). При этом, как видно из данных табл. 4.5, значения коэффициента a для озимой пшеницы и овса практически совпадают, а для яровой пшеницы и ярового ячменя относительно близки между собой.

Линейность связи урожайности колосовых с высотой растений в начале колошения (выметывания) H_K подтверждается прогнозными уравнениями, приведенными в работе [101] для ряда регионов. Однако детальный анализ этой связи в сортовом и видовом разрезе показал, что она является более сложной. Как видно из рис. 4.6, для овса сорта Победа довольно четко выражена

Таблица 4.5

Уравнения связи урожайности зерна колосовых культур Q (% сортового максимума) с высотой растений в фазу колошения H_K

Культура	Число наблюдений	H_K , см	Уравнение связи	Номер уравнения	Коэффициент корреляции R между фактической урожайностью Q и рассчитанной по уравнению
Озимая пшеница	172	20—110	$Q = 0,69 H_K$	(4.8)	$0,57 \pm 0,049$
Яровая пшеница	179	20—90	$Q = 0,83 H_K$	(4.9)	$0,60 \pm 0,048$
Яровой ячмень	368	20—92	$Q = 0,74 H_K$	(4.10)	$0,47 \pm 0,041$
Овес	147	20—100	$Q = 0,68 H_K$	(4.11)	$0,53 \pm 0,052$

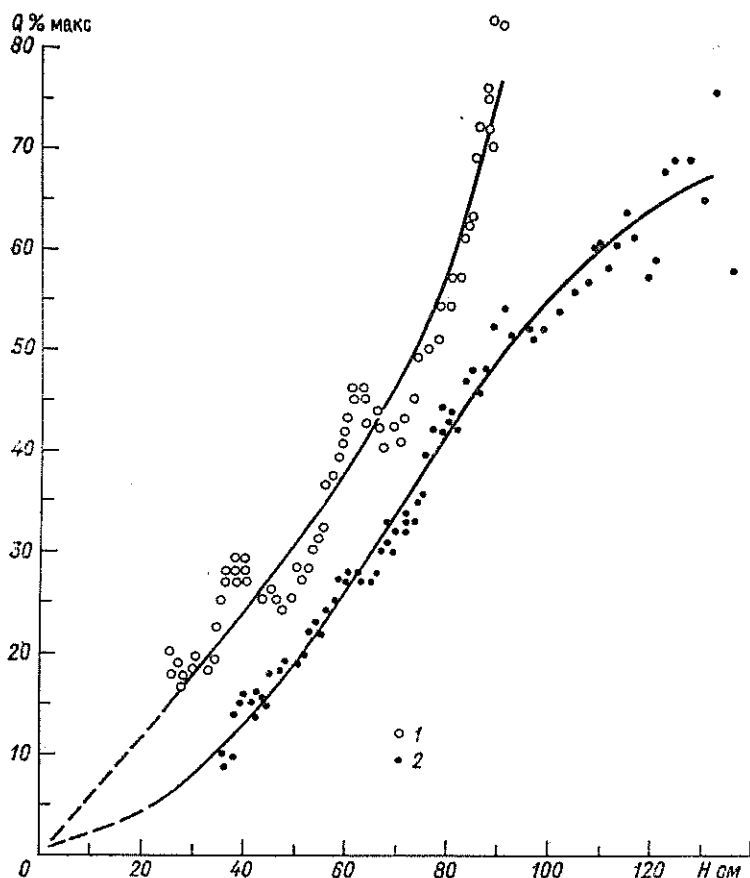


Рис. 4.6. Зависимость урожайности Q овса Победа от высоты растений H в разные фазы развития.

1 — при выметывании, 2 — при молочной, восковой и полной спелости.

нелинейность этой связи. Исследованные же пределы высоты растений этой культуры не позволяют рассмотреть интервалы ее оптимальности, так как неизвестна точка перегиба кривой. Для озимой пшеницы Мироновская 808 зависимость урожайности зерна от H_K выражается выпуклой кривой со средним максимумом урожайности при $H_K \approx 115$ см (рис. 4.7). Коэффициенты корреляции

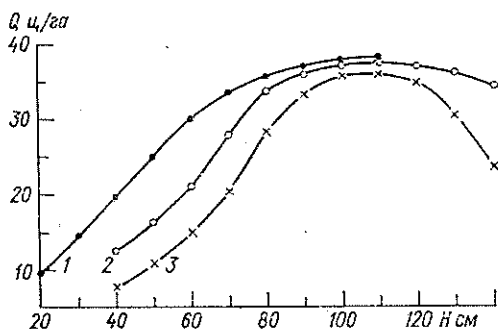


Рис. 4.7. Связь урожайности зерна Q озимой пшеницы Мироновская 808 с высотой растений H при массовом колошении (1), цветении (2) и молочной спелости (3).

между фактической урожайностью этой культуры и рассчитанной по высоте растений в фазы колошения, цветения и молочной спелости с помощью кривых рис. 4.7 относительно высокие и соответственно равны

$$R_K = 0,43 \pm 0,086,$$

$$R_{\text{ц}} = 0,59 \pm 0,069,$$

$$R_M = 0,65 \pm 0,037.$$

Судя по коэффициентам корреляции, с течением времени информативность данных о высоте растений озимой пшеницы и ее урожайности существенно возрастает.

Таблица 4.6

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной (относительно урожайности) высоты растений (см) перед уборкой гречихи Богатырь и проса Багряное

Высота растений	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальной высоте растений	Гречиха [142]	Просо
Недостаточная	<70	<80	<75
Посредственная	70—90	81—93	75—95
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	94—119	95—125—?
Большая	90—70	120—134	—
Избыточная	<70	>134	—

В репродуктивный период (в фазы колошения, цветения и молочной спелости) высота растений соответственно 55, 67 и 78 см оказывается недостаточной (урожайность менее 70 % урожайности при оптимальной высоте). Наибольшая урожайность (90—100 % урожайности при оптимальной высоте) наблюдается при высоте растений в фазу молочной спелости 89—127 см. Посевы с высотой >138 см в эту фазу давали урожайность зерна менее 70 % урожайности при оптимальной высоте. Верхний предел субоптимального интервала высоты озимой пшеницы в фазы колошения и цветения из-за недостатка данных установить не удалось, поэтому в табл. 4.4 (как и в других) поставлен знак вопроса (?).

У гречихи и проса низкорослые посевы (соответственно менее 80 и 75 см при созревании), так же как и переросшие (у гречихи более 138 см), дают низкие урожаи зерна (табл. 4.6).

Представленные в табл. 4.4—4.6 количественные показатели оптимальности высоты растений отдельных зерновых культур можно использовать для объективной оценки их состояния.

Глава 5

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ

5.1. Взаимосвязь продуктивности растений с отдельными элементами структуры урожая

Продуктивность P (г) отдельных растений или стеблей (колоса, метелки) можно определить по количеству сформировавшихся зерен и их массе по формуле

$$P = 10^{-3} Zm, \quad (5.1)$$

где Z — количество зерен в одном колосе (метелке), m — масса 1000 зерен, г.

Масса 1000 зерен в формуле (5.1) в значительной степени зависит от количества зерен в одном колосе (метелке). Чем больше зерен в колосе (метелке), тем (при прочих равных условиях) меньше масса отдельного зерна. И, наоборот, в редкозерных колосьях (метелках) чаще всего абсолютная масса отдельных зерен больше, чем у сильно озерненных. Следовательно, зависимость продуктивности колоса (метелки) зерновых культур представляется сложной: от количества заложившихся в колосе (метелке) зерен зависит и продуктивность колосьев (метелок) в целом и масса самих зерен.

Зависимость продуктивности одного колоса P (г) озимой пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1 от количества зерен Z_m в фазу молочной спелости (в интервале от 20 до 45 шт.) в колосе оказалась линейной и ее можно выразить корреляционным уравнением

$$P = kZ_m, \quad (5.2)$$

где k — средняя масса одного зерна при уборке урожая, $k = 0,036$ г.

Масса отдельных зерен связана с продуктивностью колосьев (метелок) даже таких мелкозернистых культур, как просо. Так, при массе 1000 зерен $m = 2 \dots 2,5$ г 1 млн. растений (метелок) проса сорта Багряное дает зерна в среднем около 2,5 ц, а при массе 1000 зерен $m = 9,5$ г — в среднем более чем в 8 раз выше (20—21 ц). Масса зерновок и их размеры, как подчеркнуто в работе [119], определяются процессами, протекающими на последних этапах органогенеза в фазы налива и созревания семян. Количество же оплодотворенных цветков Z , т. е. зерен в колосе или метелке, определяется процессами, развивающимися в более ранние фазы (выхода в трубку, колошения и цветения) и зависит от

числа колосков в колосе (метелке) и количества в колосках цветков, закладываемых в период выхода в трубку. Соотношение между этими биологическими показателями выражается простой формулой

$$Z = K \bar{Z}_k. \quad (5.3)$$

Здесь K — количество колосков в колосе (метелке), $\bar{Z}_k$ — среднее количество зерен в одном колоске. С учетом формулы (5.3) выражение (5.1) будет иметь вид

$$P = 10^{-3} K \bar{Z}_k m. \quad (5.4)$$

Вполне понятно, что в правой части выражения (5.4) показатели элементов продуктивности также связаны между собой, имеют видовые и даже сортовые различия. Однако для всех зерновых культур характерно то, что такой элемент продуктивности растений, как количество колосков в колосе (метелке), имеет значительно большую вариабельность, чем их озерненность и абсолютная масса зерен. Поэтому в первом приближении по количеству заложенных колосков в колосе (метелке) можно получить представление об урожайности (продуктивности) с большой заблаговременностью. Об этом можно судить по представленной на рис. 5.1 зависимости для озимой пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1 (всего 181 случай наблюдений).

Как следует из рис. 5.1, при низкой плотности колосков в колосе озимой пшеницы в начале выхода в трубку (по 12 колосков в колосе) один колос давал около 0,7 г зерна, а при 18—19 колосков в колосе продуктивность увеличивалась в 2 раза. Если к фазам колошения и молочной спелости сохранялось мало колосков в колосе (около 12 шт.), то с каждого колоса получалось в среднем по 0,8—0,9 г зерна, если много (около 22 шт. в каждом колосе) продуктивность одного колоса возрастала до 1,7—1,9 г. Следует отметить, что с возрастом растений оценка продуктивности колоса озимой пшеницы по количеству в них развитых колосков становится более надежной. Так, коэффициенты корреляции между фактической продуктивностью колоса и рассчитанной с помощью кривых 1 и 2 рис. 5.1 по количеству колосков в колосе в фазы появления нижнего узла соломинны и колошения соответственно равны: $R = 0,60 \pm 0,065$ и $R = 0,71 \pm 0,036$.

Связь продуктивности колоса с количеством колосков в колосьях с единицы площади посева озимой пшеницы оказалась менее тесной. Коэффициент корреляции между фактической продуктивностью колоса и рассчитанной с помощью кривой 3 рис. 5.1 по количеству колосков во всех колосьях с площади 1 м² оказался значительно ниже ($R = 0,48 \pm 0,056$), чем рассчитанный по количеству колосков в одном колосе с помощью кривой 2 рис. 5.1.

Следует отметить также, что по мере возрастания количества колосков на 1 м² посева с 3—4 до 9—10 тыс. продуктивность одного колоса озимой пшеницы увеличивается в среднем с 0,8—1,0

до 1,3—1,4 г зерна. При дальнейшем увеличении плотности колосков на единице площади посева озимой пшеницы (до 22 тыс. шт. на 1 м²) заметного увеличения продуктивности колоса не наблюдалось (см. кривую 3 рис. 5.1).

В метелке овса по сравнению с колосом озимой пшеницы закладывается значительно больше колосков (по наблюдениям агрометеорологических станций — до 40 шт.). При возрастании ко-

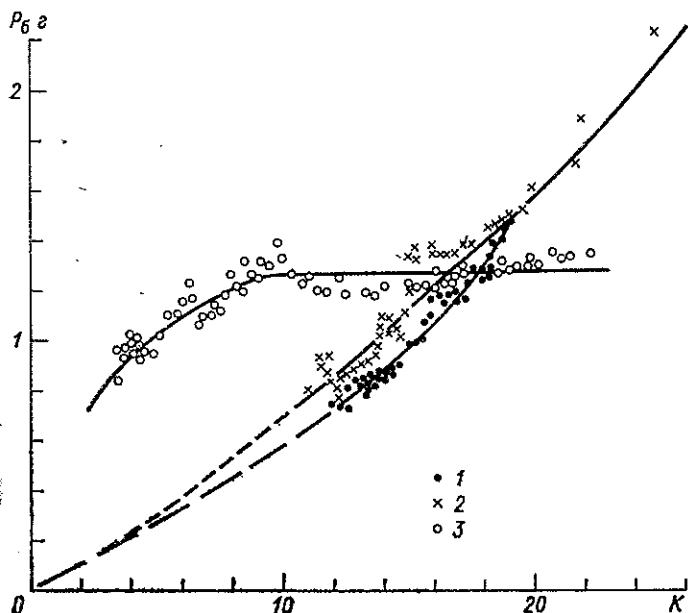


Рис. 5.1. Связь продуктивности колоса озимой пшеницы P_6 с количеством колосков в колосе K при появлении нижнего узла соломины (1) и после колошения (2) и с количеством колосков (тыс. шт.) в фазу колошения всех колосьев на 1 м² (3).

личества колосков в метелке овса от 10 до 40 масса зерна одной метелки увеличивается в среднем от 0,6 до 1,4 г (кривая 1 рис. 5.2). При количестве колосков менее 10 шт. продуктивность метелки составляет 0,6—0,7 г зерна в среднем для каждой. Однако при уменьшении количества колосков от 10 до 5 шт. в метелке происходит небольшое, но заметное в указанных пределах повышение массы зерна с одной метелки овса. Это явление связано с компенсацией малого количества колосков, а следовательно, и зерен в метелке овса более интенсивным их наливом и в результате — большей абсолютной массой.

Зависимость продуктивности метелок овса от плотности колосков на единице площади посева оказалась монотонно возрастающей (кривая 2 рис. 5.2): при увеличении количества колосков

в метелках от 3 до 10 тыс. шт. на 1 м^2 происходит увеличение массы зерна метелок от 0,4 до 1,0—1,2 г зерна с каждой. При дальнейшем увеличении плотности колосков растений овса на еди-

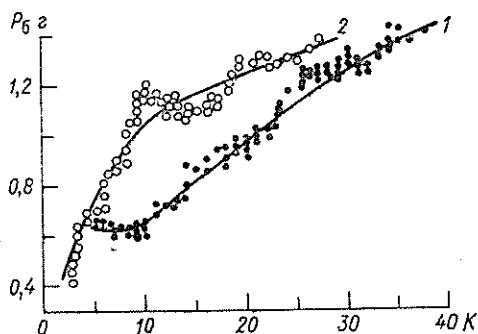


Рис. 5.2. Зависимость продуктивности метелки овса P_6 от количества колосков K в одной метелке (1) и в метелках (тыс. шт.) растений с 1 м^2 (2) в фазу выметывания.

нице площади посева рост продуктивности метелок происходит более медленно. При плотности 25—27 тыс. шт. колосков на 1 м^2 масса зерна в одной метелке овса достигает в среднем 1,3—1,4 г.

5.2. Элементы структуры урожая

На примере отдельных зерновых культур рассмотрим зависимость урожайности от количества колосков в колосе (метелке), абсолютной массы зерен и продуктивности колоса (метелки).

Связь урожайности с количеством колосков в колосе (метелке), заложенных в фазу появления нижнего узла соломины, является сложной и представляет собой выпуклую кривую с одним максимумом при оптимальном их количестве. На рис. 5.3 (кривая 1) представлена такая зависимость для озимой пшеницы. В расчет вошли 183 случая наблюдений за двумя сортами озимой пшеницы (Мироновская 808 и Безостая 1) в основных районах их возделывания. С увеличением количества заложенных колосков в колосе весной с 11 до 16 урожайность зерна озимой пшеницы при существующей в колхозах и совхозах агротехнике возрастает в среднем от 19 до 47 % урожайности сортового максимума. При дальнейшем увеличении числа колосков до 20 шт. в одном колосе урожайность резко снижается.

Аналогичное явление наблюдается и для других зерновых культур. В частности, для овса эта закономерность оказалась более выраженной, чем для озимой пшеницы (рис. 5.3, кривая 2). В обобщение вошли 125 случаев наблюдений за сортами Золотой дождь и Победа. В тех случаях, когда в фазу выметывания овса наблюдалось по 5 колосков в одной метелке, урожайность зерна составляла в среднем около 20 % сортового максимума урожайности. Если в каждой метелке овса наблюдалось по 40 колосков,

то урожайность зерна достигала в среднем 57 % сортового максимума. При дальнейшем увеличении количества колосков в метелке овса до 62 шт. урожайность значительно снижалась.

Снижение урожайности озимой пшеницы и овса с увеличением количества закладываемых колосков в колосе (метелке) свыше

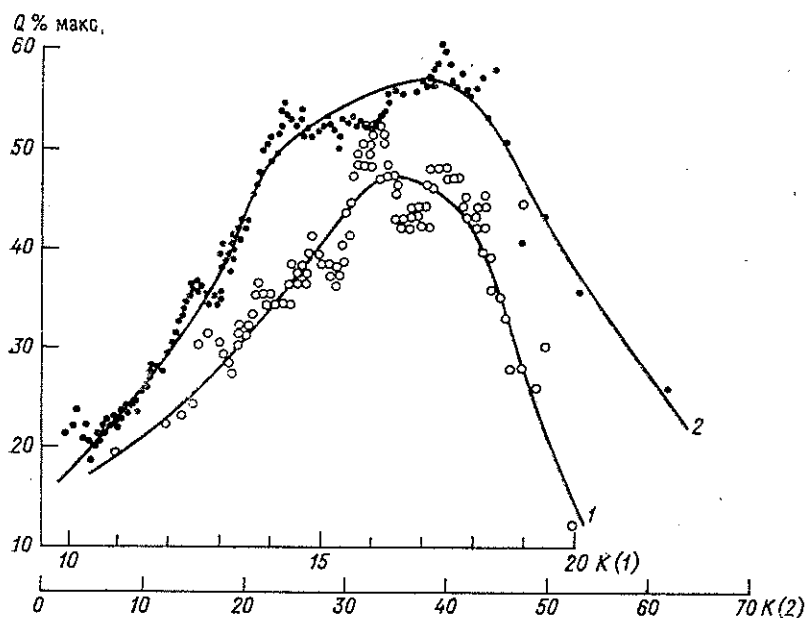


Рис. 5.3. Зависимость урожайности зерна Q от количества колосков в одном колосе K .

1 — озимая пшеница, 2 — овес.

оптимума связано с рядом причин. По нашему мнению, одна из главных причин — полегание растений из-за неблагоприятного изменения нагрузки колоса (метелки) на стебель и возрастание потерь зерна из-за неспособности комбайнов качественно скашивать и вымолачивать полегшие хлеба. Для подтверждения этого сопоставим фактическую (по данным хозяйственного учета) и биологическую урожайность зерна озимой пшеницы (рис. 5.4). Биологическая урожайность была рассчитана по 181 сопряженному наблюдению за количеством колосоносных стеблей на единице площади, количеством зерен в колосе и массой 1000 зерен озимой пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1.

Как видно из рис. 5.4, при возрастании биологической урожайности озимой пшеницы от 10 до 80 ц/га хозяйственная урожайность увеличивается в среднем от 15 до 57 % сортового максимума урожайности. При дальнейшем увеличении биологической урожайности до 170 ц/га наблюдается весьма заметное снижение фактической урожайности. Таким образом, на высокопродуктив-

ных посевах озимой пшеницы по сравнению с низкопродуктивными наблюдаются большие потери зерна вплоть до потерь почти всего урожая.

Анализ закономерностей связи урожайности зерна с количеством колосков в колосе (метелке) в фазу колошения (выметывания) позволяет сделать оценку интервалов их оптимальности (относительно урожайности) для отдельных колосовых культур (табл. 5.1). Как видно из данных таблицы, высокие урожаи наблюдаются в том случае, когда яровая пшеница в каждом колосе имеет в среднем по 12—17 колосков, а озимая — по 16—18. Яровой ячмень и особенно овес имеют интервал субоптимального количества колосков в колосе значительно выше и шире. Он составляет соответственно 18—25 и 27—46 колосков в колосе (метелке). Если яровая пшеница в фазу колошения имеет менее 10, озимая пшеница и яровой ячмень — менее 14 и овес — менее 19 колосков в ко-

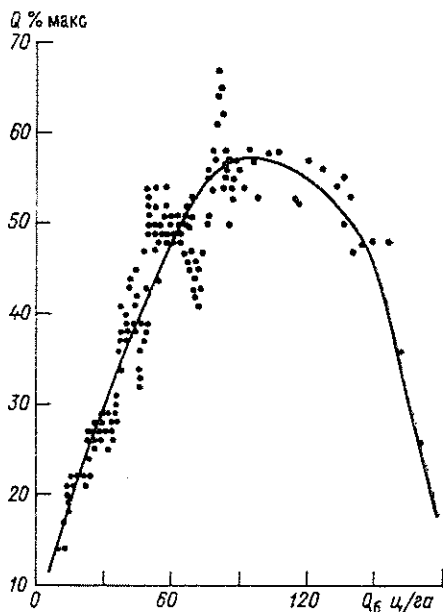


Рис. 5.4. Связь фактической Q и биологической Q_6 урожайности зерна озимой пшеницы.

лосе (метелке), то урожайность зерна составит в среднем ниже 70 % урожайности при оптимальном количестве колосков в колосе. Количество колосков избыточно, если оно в фазу колошения превышает у озимой пшеницы 19, ярового ячменя 29 и у овса 52 шт. в одном колосе (метелке).

При таком большом количестве заложенных колосков в колосе (метелке) формируются зерна с малой массой (зерен много, но они мелкие). Урожайность в этом случае также не превышает 70 % урожайности при оптимальном количестве колосков. Избежать этого можно только путем создания агрофона, соответствующего гармоничному формированию вегетативных и генеративных органов растений. Для яровой пшеницы границу избыточного интервала количества колосков в колосе из-за недостатка данных установить не удалось.

Как известно, у зерновых колосовых культур нередко наблюдается недоразвитие колосков в колосе, особенно самых нижних и верхних. Практически каждый колос имеет как минимум один недоразвитый колосок. Если не доразвиваются по два колоска

Таблица 5.1

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного (относительно урожайности) количества колосков в колосе (метелке) в фазу колошения (выметывания) зерновых культур

Количество колосков в одном колосе (метелке)	Относительная урожайность, % урожайности при оптимальном количестве колосков в колосе (метелке)	Число колосков в колосе (метелке)			
		озимая пшеница	яровая пшеница	яровой ячмень	овес
Недостаточное	<70	14	<10	<14	>19
Посредственное	70—90	14—15	10—12	14—18	19—27
Оптимальное и субоптимальное	90—100—90	16—18	12—14—17	18—21—25	27—40—46
Повышенное	90—70	19	17—?	25—29	46—52
Избыточное	<70	>19		>29	>52

в каждом колосе (метелке), то это вызывает заметное снижение урожайности зерна. Для озимой пшеницы Мироновская 808 это снижение составило в среднем 8 % (табл. 5.2).

При неблагоприятных внешних условиях часто наблюдается недоразвитие 3—4 колосков в каждом колосе. Урожайность в таких случаях резко снижается, так как недоразвитие колосков

Таблица 5.2

Зависимость урожайности озимой пшеницы Мироновская 808 от количества недоразвитых колосков в колосе при колошении

Количество недоразвитых колосков в колосе	Число случаев	Средняя урожайность	
		ц/га	отн. ед.
1	21	34,5	1,00
2	46	31,7	0,92
3	12	19,4	0,56
4	6	18,9	0,55
Итого по выборке	85	29,8	0,86

в колосе часто сопровождается явлением «череззерницы». Кроме того, недоразвитость колосков свидетельствует о степени неблагоприятности условий, которые отрицательно влияют и на все остальные колоски и массу зерен. Как видно из данных табл. 5.2, в тех случаях, когда в колосе озимой пшеницы Мироновская 808 наблюдалось по 3—4 недоразвитых колоска урожайность снижалась в среднем на 44—45 % по сравнению с урожайностью при одном недоразвитом колоске в колосе.

Естественно, что урожайность зерна, кроме количества колосков в колосе, зависит от густоты колосonoсных стеблей. По нашим данным, связь урожайности зерна с количеством колосков

во всех колосьях стеблей с 1 м^2 оказывается более тесной, чем с их числом в одном колосе (метелке) (табл. 5.3). Количество колосков K_S (тыс. шт.) с 1 м^2 можно рассчитать по формуле

$$K_S = K_K L, \quad (5.5)$$

где K_K — среднее количество колосков в одном колосе (метелке), L — среднее количество колосконосных (продуктивных) стеблей на 1 м^2 .

В табл. 5.3 приведены уравнения регрессии (1-й, 2-й и 3-й степени) и оценки тесноты связи урожайности двух зерновых культур с количеством колосков в одном колосе и их количеством на 1 м^2 . Уравнения рассчитывались на ЭВМ с помощью чисел Чебышева. Как видно из данных табл. 5.3, коэффициенты корреляции между фактической урожайностью и рассчитанной с помощью приведенных уравнений существенно выше, если в качестве предиктора использовать количество колосков на единице площади посева K_S . Аналогичное наблюдается и для других зерновых культур. Таким образом, судя по коэффициентам корреляции, оценка состояния зерновых по величине K_S является более надежной.

Каждая зерновая культура в виду биологических особенностей имеет свою форму связи хозяйственной урожайности зерна с количеством колосков на единице площади посева (рис. 5.5). Как видно из рисунка, самая низкая плотность колосков на единице площади в фазу колосшения (выметывания) наблюдается на посевах яровой пшеницы (до 17 тыс. шт. на 1 м^2), самая большая — на посевах ярового ячменя (до 112 тыс. шт. на 1 м^2). Характерно, что урожайность зерна яровой пшеницы оказалась самой чувствительной к изменению плотности колосков на единице площади посева. Как видно из рис. 5.5 (кривая 1), при отклонениях величины K_S от оптимума на 1—2 тыс. колосков на 1 м^2 при прочих равных условиях наблюдается резкое снижение урожайности яровой пшеницы. Урожайность ярового ячменя в широком диапазоне величины K_S относительно мало чувствительна к изменению плотности колосков K_S . Так, в интервале 18—77 тыс. колосков на 1 м^2 урожайность этой культуры изменяется не более чем на 10 % сортового максимума урожайности. И только при относительно низкой плотности колосков (< 18 тыс. шт. на 1 м^2) урожайность ярового ячменя значительно снижается. Плотность колосков озимой пшеницы и овса по сравнению с яровой пшеницей была больше, но значительно меньше, чем плотность колосков ярового ячменя, и достигала соответственно 23 и 50 тыс. шт. на 1 м^2 .

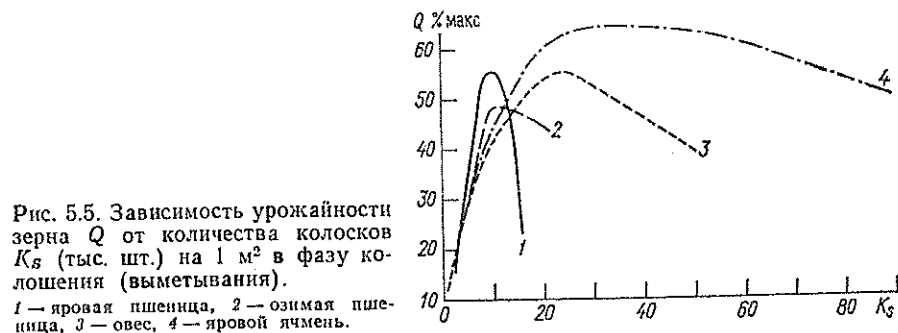
Анализ данных агрометеорологических наблюдений показал, что для яровой и озимой пшеницы значения $K_S = 10,5 \dots 11$ тыс. шт. на 1 м^2 , а для ярового ячменя и овса — соответственно 36 и 24 тыс. шт. на 1 м^2 являются гармоническим оптимумом (табл. 5.4; см. также рис. 5.5). В таких случаях урожайность этих культур при прочих равных условиях оказывается наибольшей. В случаях когда колосков образуется больше или меньше гармонического

8 Таблица 5.3

Уравнения связи урожайности зерна Q (% макс.) яровой пшеницы (9 сортов) и овса (2 сорта) с количеством колосков в одном колосе K_K и их количеством K_S (тыс. шт.) на 1 м² в фазу колошения (выметывания) и коэффициент корреляции R между фактическими и рассчитанными значениями

Уравнение связи	Номер уравнения	Число наблюдений	Интервал применения уравнения по числу колосков	R
Яровая пшеница				
$Q = 2,17 + 3,15 K_K$	(5.6)	177	5—17 шт. в колосе	$0,31 \pm 0,071$
$Q = -2,79 + 5,18 K_K - 0,12 K_K^2$	(5.7)	177		$0,34 \pm 0,066$
$Q = 1,03 + 1,26 K_K - 0,5 K_K^2 - 0,024 K_K^3$	(5.8)	177		$0,37 \pm 0,064$
$Q = 16,01 + 2,29 K_S$	(5.9)	177	2—16 тыс. шт. на 1 м ²	$0,41 \pm 0,065$
$Q = -5,71 + 11,6 K_S - 0,58 K_S^2$	(5.10)	177		$0,49 \pm 0,059$
$Q = -0,13 + 5,59 K_S + 0,41 K_S^2 - 0,04 K_S^3$	(5.11)	177		$0,51 \pm 0,058$
Овес				
$Q = 32,95 \pm 0,18 K_K$	(5.12)	163	5—60 шт. в метелке	$0,37 \pm 0,067$
$Q = 6,66 + 2,69 K_K - 0,039 K_K^2$	(5.13)	163		$0,37 \pm 0,067$
$Q = 11,14 + 1,81 K_K - 0,004 K_K^2 - 0,00035 K_K^3$	(5.14)	163		$0,38 \pm 0,066$
$Q = 32,12 + 0,415 K_S$	(5.15)	122	5—50 тыс. шт. на 1 м ²	$0,42 \pm 0,073$
$Q = 12,97 + 2,9 K_S - 0,05 K_S^2$	(5.16)	122		$0,62 \pm 0,056$
$Q = 6,83 + 4,68 K_S - 0,14 K_S^2 + 0,0012 K_S^3$	(5.17)	122		$0,63 \pm 0,055$

оптимума, урожайность снижается. Количество колосков оказывается недостаточным (урожайность $< 70\%$ урожайности при оптимальном их количестве), если их число составляет: у озимой и яровой пшеницы соответственно < 5 и 6 тыс. шт., у ярового ячменя и овса < 11 и 9 тыс. шт на 1 м^2 посева. Такая же низкая урожайность наблюдается при избыточной плотности колосков на 1 м^2 : для посевов яровой пшеницы и ярового ячменя соответ-



венно более 15 и 105 тыс. на 1 м^2 . Это связано с тем, что при избыточно высокой плотности колосков на единице площади формируется зерно с малой массой (мелкое и легкое). Для озимой пшеницы и овса границу интервала избыточного количества колосков на единице площади посева определить не удалось.

Приведенные в табл. 5.1 и 5.4 интервалы оптимальности (относительно урожайности) количества колосков в одном колосе и на единице площади посева могут служить объективными критериями оценки состояния посевов озимой и яровой пшеницы, ярового ячменя и овса.

В работе М. С. Савицкого [105] приводится шкала количественной оценки отдельных элементов структуры урожая и продук-

Таблица 5.4

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного (относительно урожайности) количества колосков в колосьях (метелках) растений на 1 м^2 в фазу колошения (выметывания) зерновых культур

Количество колосков в колосьях (метелках) на 1 м^2	Относительная урожайность, % урожайности при оптимальном количестве колосков в колосьях (метелках) на 1 м^2	Количество колосков в колосьях (метелках) на 1 м^2 , тыс. шт.			
		озимая пшеница	яровая пшеница	яровой ячмень	овес
Недостаточное	< 70	< 5	< 6	< 11	< 9
Посредственное	$70-90$	$5-8,5$	$6-7,5$	$11-18$	$9-17$
Оптимальное и субоптимальное	$90-100-90$	$8,5-11-21,5$	$7,5-10,5-13$	$18-36-?$	$17-24-34$
Повышенное	$90-70$	$21,5-?$	$13-15$	—	$34-?$
Избыточное	< 70	—	> 15	—	—

тивности растений озимой пшеницы Мироновская 808, которая разработана на материалах сортоиспытательных участков Белорусской ССР (табл. 5.5). Вся шкала разбита на пять градаций: от очень низкой до очень высокой оценки. Так, в частности, к последней категории относятся случаи, когда в колосе образуется более 25 зерен. Однако анализ данных агрометеорологических станций показал, что наибольшая урожайность озимой пшеницы

Таблица 5.5

Шкала оценки элементов структуры урожая и продуктивности растений озимой пшеницы Мироновская 808. По данным [105]

Оценка элементов продуктивности растений	Количество зерен в колосе	Масса зерна в колосе (продуктивность колоса), г	Масса 1000 зерен, г	Выход зерна в общем урожае, %	Урожай зерна (планируемый), ц/га
Очень низкая	<10	<0,50	<35,0	<30	<20,0
Низкая	11—14	0,51—0,65	35,1—40,0	30,1—40,0	20,1—30,0
Средняя	15—20	0,66—0,80	40,1—45,0	40,1—45,0	30,1—40,0
Высокая	21—25	0,81—1,0	45,1—50,0	45,1—50,0	40,1—50,0
Очень высокая	>25	>1,0	>50,0	>50,0	>50,0

Мироновская 808 наблюдается в том случае, когда в колосе закладывается 29—40 зерен (гармонический оптимум равен в среднем 35 шт. в колосе). Если в колосе меньше 23 и больше 50 зерен, то урожайность зерна составляет <70 % от ее значения при оптимуме количества зерен в колосе.

Интервалы оптимальности массы 1000 зерен для озимой пшеницы Мироновская 808, приведенные в табл. 5.5, вполне приемлемы для наших целей и хорошо согласуются с данными сети агрометеорологических станций.

Связь урожайности озимой пшеницы Мироновская 808 с массой 1000 зерен (от 24 до 60 г) оказалась близка к линейной (кривая 1 рис. 5.6) и относительно тесной. Коэффициент корреляции между фактической урожайностью озимой пшеницы и рассчитанной с помощью рис. 5.6 $R=0,57 \pm 0,072$. Форма связи урожайности с массой 1000 зерен для каждой культуры имеет свой вид. Так, для проса Багряное связь урожайности с массой 1000 зерен (от 2 до 10 г) имеет вид экспоненты (кривая 2 рис. 5.6).

Связь урожайности овса Победа с массой 1000 зерен оказалась еще более сложной и имеет вид гипоциклоиды (рис. 5.7). С увеличением массы 1000 зерен от 16 до 34—35 г урожайность овса этого сорта возрастает от 10—11 до 54 % сортового максимума; при дальнейшем увеличении массы 1000 зерен до 60 г урожайность резко снижается (до 15 % сортового максимума). Это явление связано, по-видимому, со склонностью овса к осыпанию созревшего зерна непосредственно на корню и при уборке. Более полное зерно создает предпосылки к более интенсивному его осыпанию и потере, а следовательно, к значительному снижению урожайности. В этой связи представляется целесообразным

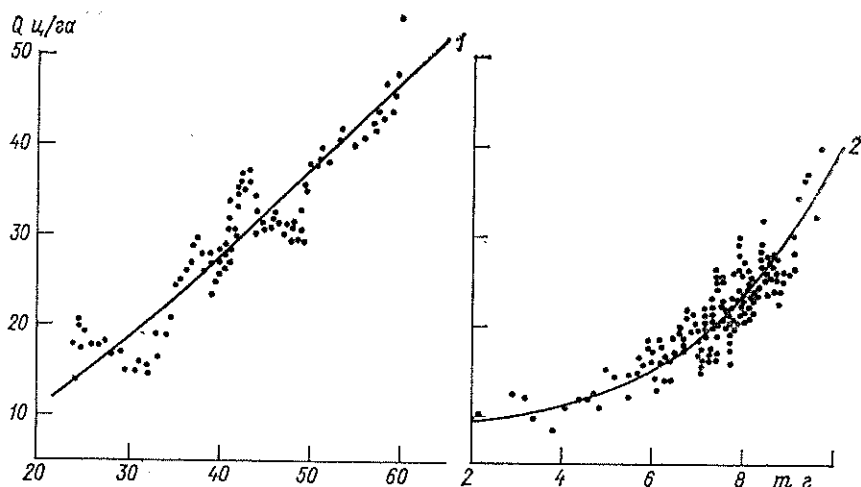


Рис. 5.6. Зависимость урожайности зерна Q озимой пшеницы Мироновская 808 (1) и проса Багряное (2) от массы 1000 зерен m .

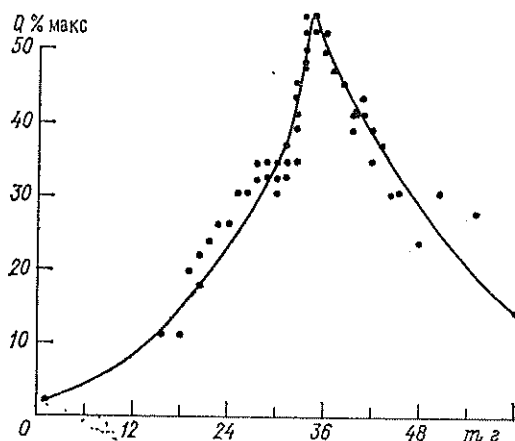


Рис. 5.7. Зависимость урожайности зерна Q овса Победа от массы 1000 зерен m .

Таблица 5.6

Интервалы недостаточной, оптимальной и «избыточной» (относительно урожайности) массы 1000 зерен овса

Оценка массы 1000 зерен	Относительная урожайность, % урожайности при оптимальной массе 1000 зерен	Масса 1000 зерен, г
Недостаточная	<70	<31,5
Посредственная	70—90	31,5—32,5
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	32,5—34,5—41,0
«Повышенная»	90—70	41,0—42,5
«Избыточная»	<70	>42,5

рассчитать критерии оптимальности по массе 1000 зерен овса (относительно урожайности зерна) (табл. 5.6). Из данных таблицы видно, что максимум урожайности овса Победа наблюдается при массе 1000 зерен 32,5—41,0 г. Если эта масса составляет меньше

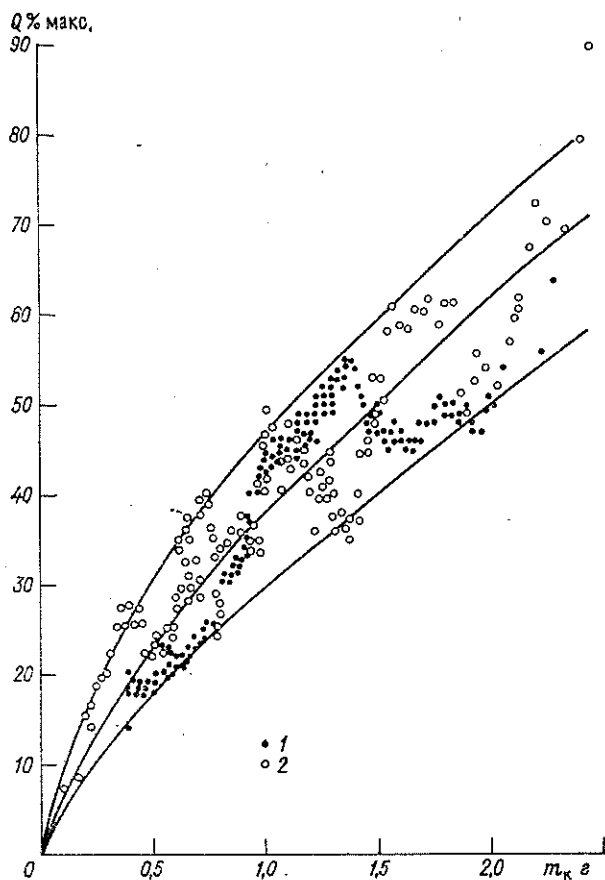


Рис. 5.8. Связь урожайности зерна Q озимой пшеницы (1) и овса (2) с продуктивностью колоса (метелки) главного стебля m_k .

31,5 и больше 42,5 г, то урожайность снижается до 70 % и менее от ее значения при оптимуме массы 1000 зерен.

Биологической основой количественной оценки состояния посева сельскохозяйственных культур, как показано в работе [140], может служить формула структуры урожая М. С. Савицкого [103], которую для наших целей запишем в простом виде:

$$Q = \sum_{i=1}^M P_i = \bar{P}M, \quad (5.18)$$

где Q — урожайность зерна сельскохозяйственной культуры, P_i и $\bar{P}$ — соответственно продуктивность отдельных растений (стеблей) и ее среднее значение, M — густота продуктивных растений (стеблей).

Продуктивность растений, как показано в главе 3, относительно тесно связана с густотой растений при уборке урожая, следовательно, зависимость урожайности от плотности агроценоза и продуктивности колоса (метелки) представляется достаточно сложной. От густоты посева зависит и урожайность зерна агроценоза в целом и продуктивность составляющих агроценоз отдельных растений или стеблей.

На рис. 5.8 показана зависимость относительной урожайности озимой пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1 (180 случаев наблюдений) и овса Золотой дождь и Победа (164 случая) от биологической продуктивности колоса (метелки) главного стебля. Биологическая продуктивность колоса (метелки) рассчитана по массе 1000 зерен и среднему количеству зерен в колосе (метелке) по формуле (5.1).

Как видно из рис. 5.8, несмотря на большие биологические различия озимой пшеницы и овса, точки укладываются в пределах одной зависимости. При увеличении продуктивности колоса (метелки) от 0,4 до 2,4 г наблюдается заметный рост урожайности этих культур (от 20 до 70 % сортового максимума). Верхняя огнибающая кривая рис. 5.8 ограничивает относительно густые, нижняя — относительно редкие посевы.

Глава 6

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МЕЖФАЗНЫХ ПЕРИОДОВ

Известно, что темпы развития растений характеризуются скоростью наступления определенных этапов органогенеза и как внешним проявлением этого, скоростью наступления фаз развития, количественной характеристикой которой является продолжительность периодов между отдельными этапами образования органов или фазами развития растений. Поскольку систематические наблюдения за стадиями развития и этапами органогенеза растений до последнего времени не приводятся [139], нами в качестве показателя темпов развития растений использована продолжительность периодов между наступлением фаз развития растений [80].

В качестве характеристик степени развития растений сельскохозяйственных культур широко используются такие показатели, как фазы развития растений и количество стеблей, а также вторичных корней у одного растения [74, 101, 122, 130, 147 и др.]. Состояние корневой системы, согласно [80], характеризуется тремя градациями:

- 1) вторичных (придаточных) корней нет;
- 2) укоренение слабое — менее пяти вторичных корней у одного растения;
- 3) укоренение хорошее — пять или более вторичных корней у одного растения.

6.1. Степень развития растений и элементы продуктивности посева озимой пшеницы

Зависимость элементов продуктивности агроценоза (высоты растений, густоты стеблей и их сохранности) и урожая от степени развития растений, характеризуемой фазой их развития, кустистостью и состоянием корневой системы, проявляется с самого начала вегетационного периода — осенью.

Линейные размеры растений и их кустистость, как функции времени, взаимосвязаны. Связь высоты H_0 (см) растений озимой пшеницы осенью в период прекращения их вегетации с кустистостью растений β_0 удовлетворительно описывается уравнением параболы

$$H_0 = 6 + 5,91\beta_0 - 0,73\beta_0^2, \quad (6.1)$$

где β_0 — среднее количество стеблей одного растения перед зимовкой (кустистость). При этом за начало отсчета условно принята фаза всходов ($\beta_0=0$), а фазе 3-го листа соответствует $\beta_0=0,5$. Тогда из уравнения (6.1) следует, что посевы, уходящие в зиму в фазе всходов, имеют высоту растений в среднем 6 см, а в фазе кущения с 3,5—4 стеблями — около 18 см. При дальнейшем увеличении кустистости наблюдается некоторое снижение высоты растений. Так, при кустистости 6 стеблей высота уходящих в зиму растений в среднем на 3 см ниже, чем при кустистости 3,5—4 стебля. Это связано с тем, что при кущении растений происходит полное или частичное отмирание нижних наиболее длинных листьев. В результате высота растений, измеряемая, согласно [80], от поверхности почвы до конца наиболее длинного листа, становится меньше.

Высота растений H_K (см) в фазу колошения линейно связана с уровнем развития растений весной и выражается уравнением

$$H_K = 4,1\beta_n + 53,5, \quad (6.2)$$

где β_n — количество стеблей одного растения через 10 дней после возобновления вегетации озимой пшеницы; для фазы всходов $\beta_n=0$, для фазы 3-го листа $\beta_n=0,5$.

Высота растений H_K озимой пшеницы, возобновивших вегетацию весной в фазе всходов, составляла в среднем 53—54 см, а растения, у которых весной было по 5—6 стеблей, при колошении достигали высоты в среднем 77—78 см. Аналогичные связи высоты растений и степени развития растений отмечаются и для ржи. Вполне понятно, что фотосинтезирующая поверхность агроценоза, а следовательно, и потенциальные возможности получения высокого урожая у более развитых с осени и весной посевов озимых культур значительно выше, чем у менее развитых и находящихся в фазах всходов и 3-го листа.

На рис. 6.1 показана связь относительного количества стеблей ко времени возобновления вегетации весной и уборки урожая (% их количества осенью) с фазой развития растений озимой пшеницы к моменту прекращения осенней вегетации. Видно, что растения, уходящие в зиму в фазе 3-го листа, через 10 дней после возобновления вегетации весной активно кустятся и количество стеблей на 1 м² в среднем на 40—45 % больше, чем осенью. Ко времени уборки урожая такие посевы имеют продуктивную кустистость не менее 1,2—1,3.

У растений, имеющих осенью по 5 стеблей, к весне сохраняются в среднем 70—75 % стеблей, а продуктивными ко времени уборки урожая становятся всего лишь около 35 % их осеннего количества; причем их продуктивная кустистость составляет 1,7—1,8. Растения, уходящие в зиму в фазе всходов, ко времени весеннего обследования вступают в фазу 3-го листа, а иногда начинают куститься. Ко времени уборки таких посевов в ряде случаев часть растений погибает или остается без колоса; иногда их продук-

тивная кустистость достигает 1,05—1,06, т. е. только отдельные растения имеют по два стебля.

Вполне понятно, что отмирание стеблей озимых культур по площади поля в виду микроклиматических различий происходит неравномерно. При небольшой гибели стеблей на поле наблюда-

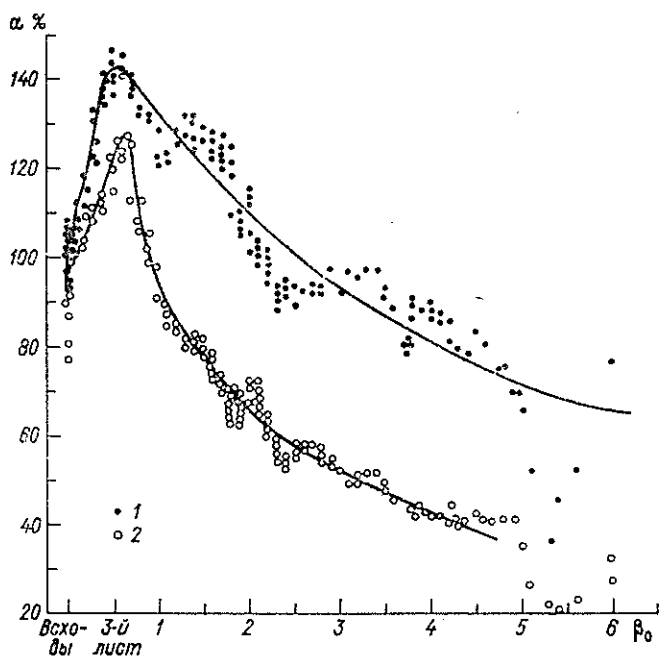


Рис. 6.1. Зависимость сохранности стеблей озимой пшеницы α в период от прекращения вегетации осенью до возобновления вегетации растений весной (1) и до уборки урожая (2) от степени кущения (кустистости) растений осенью β_0 .

ются небольшие плешины, увеличивающиеся по мере возрастания гибели стеблей и самих растений. Площадь поля с погибшими в течение зимнего периода растениями S_v во многом зависит от уровня осеннего развития посевов. Коэффициент корреляции между фактически наблюдавшимися значениями S_v и полученными с помощью графика связи S_v со степенью развития растений озимой пшеницы равен $0,49 \pm 0,096$. Значения $S_v \leq 10$ % площади поля обычно наблюдаются при кустистости $< 2,5$ стебля у одного растения. При увеличении кустистости от 2,5 до 5 и более побегов у одного растения S_v увеличивается до 30 % и более. Для таких посевов требуется подсев семенами яровой культуры, а при большей гибели — пересев.

Обнаруживается относительно четкая обратная связь сохранности стеблей в течение весенне-летнего периода вегетации озимой пшеницы и с уровнем развития растений весной. Эта связь аппроксимируется линейным уравнением

$$\alpha = 106 - 12\beta_v, \quad (6.3)$$

где α — количество стеблей ко времени уборки урожая (% их количества на 1 м² при весеннем обследовании), β_v — кустистость при весеннем обследовании посевов.

Таким образом, если посевы озимой пшеницы через 10 дней после возобновления вегетации растений были в фазах всходов и 3-го листа, то ко времени уборки урожая количество стеблей на 1 м² составляло 100—110 % их количества весной, а продуктивная кустистость 1,0—1,1. Если весной растения имели кустистость 5 и более стеблей, то ко времени уборки урожая количество стеблей озимой пшеницы на 1 м² было <50 % их количества при весеннем обследовании, а продуктивная кустистость — 2,0—2,5. От уровня осеннего развития растений озимых культур в значительной степени зависит густота растений и стеблей. Так, в частности, на посевах озимой пшеницы Мироновская 808 наибольшее количество колосоносных стеблей в фазу колошения (около 700 стеблей на 1 м²) наблюдалось в тех случаях, когда кустистость растений осенью составляла в среднем по 2,5—2,6 стебля, которую можно принять за оптимальную. На менее и более развитых осенью посевах густота продуктивного стеблестоя озимой пшеницы существенно ниже, чем при оптимальной кустистости перед зимовкой.

Наибольшая продуктивность одного колоса озимой пшеницы (в среднем 1,26 г зерна) наблюдалась в том случае, когда посевы уходили в зимовку, едва начав куститься. Это относится и к сорту Мироновская 808 и к сорту Безостая 1. У недоразвитых (шильца, единичные всходы) и сильно развитых (5 и более стеблей у одного растения) к концу осени посевов озимой пшеницы масса зерна одного колоса ниже по сравнению с его продуктивностью при оптимальном уровне осеннего развития растений в среднем на 30 % и более.

Интересные закономерности наблюдаются при рассмотрении связи урожайности озимой пшеницы с количеством узловых корней, образовавшихся осенью ко времени прекращения вегетации растений (табл. 6.1). Как видно из табл. 6.1, для озимой пшеницы Мироновская 808 при увеличении количества образовавшихся осенью узловых корней наблюдается тенденция к снижению урожайности, а для сорта Безостая 1, наоборот, к ее увеличению. Эти сорта возделываются в разных почвенно-климатических условиях: Мироновская 808 — в более северных, влажных и с более сложными условиями в зимний период, Безостая 1 — в южных более засушливых районах. В последнем случае для обеспечения получения высокого урожая крайне важно наличие у растений хорошо развитой корневой системы начиная с самых ранних этапов жизни озимой пшеницы. Большое количество узловых корней обычно

наблюдается у переросших с осени посевов озимой пшеницы, которые являются менее зимостойкими. Этим объясняется тенденция к снижению урожайности сорта Мироновская 808 на посевах, растения которых к концу осени образовали 5 и более узловых корней.

Таблица 6.1

Зависимость урожайности озимой пшеницы от степени развития корневой системы перед уходом в зиму

Степень укоренения	Число случаев	Средняя урожайность		Число случаев	Средняя урожайность	
		ц/га	%		ц/га	%
		Мироновская 808			Безостая 1	
Узловых (придаточных) корней нет	24	31,5	100	29	20,0	79
1—4 узловых (придаточных) корни	19	30,3	97	34	24,4	96
5 и более узловых (придаточных) корней	38	28,4	0,90	33	25,3	100

Уровень весеннего развития растений озимой пшеницы дает более четкое представление об урожайности зерна. Связь урожайности озимой пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1 (% сортового максимума) с фазой развития растений через 10 дней после

Таблица 6.2

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного (относительно урожайности) уровня развития растений озимой пшеницы весной

Оценка уровня развития растений	Относительная урожайность % от ее значения при оптимальном развитии растений весной	Фаза развития растений при весеннем обследовании
Недостаточный	<70	Всходы, 3-й лист
Посредственный	70—90	Кушение, 2 стебля и менее
Оптимальный и субоптимальный	90—100—90	Кушение, 2,1—3,6—5,0 стеблей
Повышенный	90—70	Кушение, 5,1—5,8 стебля
Избыточный	<70	Кушение, более 5,8 стебля

возобновления их вегетации описывается выпуклой кривой, характерной для многих экологических явлений. Максимум урожайности зерна этой культуры наблюдается на посевах с оптимальной кустистостью растений весной, равной в среднем 3,6 стебля

(табл. 6.2). Посевы, оказавшиеся весной в фазах всходов и 3-го листа, а также сильно раскустившиеся, имеющие по 5,8 стебля и более у каждого растения дают урожай зерна ниже (на 30 % и более), чем слабо раскустившиеся.

Рассмотренные в табл. 6.2 критерии оптимальности степени развития растений озимой пшеницы необходимо учитывать при количественной оценке состояния посевов этой культуры.

6.2. Эффективность применения основного удобрения в зависимости от продолжительности осени и весны

Фактор времени в питании растений играет важную роль [76, 95, 147 и др.]. Во-первых, как известно, эффективность использования растениями питательных веществ из удобрений зависит от времени нахождения их в почве. Одни питательные элементы с течением времени выщелачиваются, другие связываются почвой и становятся для растений недоступными. Поэтому можно предположить, что чем с большей заблаговременностью (до сева) будут внесены в почву удобрения, тем ниже будет их эффективность.

Во-вторых, действие удобрений на урожай зависит также от продолжительности отдельных межфазных периодов, что связано с периодом «работы» растительного организма по усвоению и переработке питательных веществ, динамикой процессов метаболизма и анаболизма в отдельные этапы онтогенеза. Так, Ф. Шнелле [147], рассматривая возможность применения данных фенологических наблюдений в сельском хозяйстве, подчеркивает, что чем короче период развития, тем более легкорастворимые удобрения следует применять.

Отмечено также, что эффективность удобрений выше в тех случаях, когда первые межфазные периоды проходят медленно (растянуты). Такое явление наблюдается у озимых хлебов при длительной осенней вегетации [131, 137 и др.]. Любые отклонения от оптимума в питании растений имеют отрицательные последствия. В работе [76] подчеркивается, что условия питания в отдельные фазы роста и развития растений тесно связаны между собой и последовательно влияют друг на друга. Вред, нанесенный формированию урожая из-за неблагоприятно сложившихся условий питания в начальный период жизни, можно уменьшить путем внесения удобрений в последующие периоды лишь частично.

Продолжительность межфазных периодов отражает влияние внешних условий и тесно связана с гидрометеорологическим режимом и состоянием среды обитания растений [132 и др.]. Применение агротехнических мероприятий в значительной степени изменяет условия среды. Особая роль в этом принадлежит сроку сева. При изменении сроков сева растения попадают под влияние иного режима метеорологических факторов, что существенно меняет агрометеорологические условия произрастания растений. Следовательно, эффективность многих агротехнических мероприя-

тий, в том числе и эффективность удобрений, зависит от сроков сева. При севе в разные сроки растения осенью по-разному обеспечиваются теплом и влагой; различны также продолжительность дня и ночи, качество света и др. Для озимых культур очень важным в жизни растений является осенний период. Этот период в питании озимых является критическим [83]. С периодом осенней вегетации тесно связаны и закладка узла кущения, и накопление в растениях сахаров, и различные превращения веществ в самом растении, степень их подготовленности к перезимовке.

Наши исследования [131] показали, что эффективность основного удобрения на посевах озимых в значительной степени зависит от агрометеорологических условий осени, в частности от продолжительности периода сев—прекращение активной вегетации растений. Чем больше продолжительность периода осенней вегетации, тем больше продолжительность периода питания растений осенью, и на удобренных посевах, естественно, создаются предпосылки для получения высокого урожая.

При коротком осеннем периоде вегетации для нормального развития надземной части растений, их корневой системы и жизненно важной части растений—узла кущения, энергетических ресурсов (тепла и солнечной радиации) недостаточно и удобрения, внесенные перед севом, действуют слабо, а иногда вообще не действуют.

Если основные удобрения заделываются путем заделки, то туки попадают в почву в основном в слой, расположенный на глубине 16—22 см, если удобрения вносятся под культивацию, то туки попадают в более верхний слой—на глубину 8—12 см. Поэтому связь эффективности основного удобрения с продолжительностью периода осенней вегетации проявляется по-разному.

В табл. 6.3 представлены интервалы оптимальности продолжительности осенней вегетации относительно влияния основного удобрения на урожайность озимой пшеницы, полученные в результате анализа материалов наблюдений Всесоюзного института удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова (ВИУА) по опытам с удобрениями. При этом были обобщены данные опытов, в которых удобрения вносились в относительно небольших дозах (по 30—45 кг N, P₂O₅ и K₂O на 1 га, в том числе 20—30 кг N/га весной в подкормку, остальное—до сева). Как видно из данных табл. 6.3, оптимальная продолжительность осеннего периода вегетации относительно действия удобрений на урожайность озимой пшеницы при их внесении под вспашку и предпосевную культивацию оказалась равной в среднем 56 и 62 дня соответственно. Действие удобрений на урожайность снижается в среднем на 30 % и более при короткой осенней вегетации озимой пшеницы (<38 и 20 дней). Такое же снижение эффективности действия удобрений на урожайность озимой пшеницы наблюдается при очень длинном периоде от сева до прекращения активной вегетации растений (соответственно >63 и 74 дней).

Не менее важное значение для формирования урожая озимых культур имеет и весенний период. Так, например, в работе [71] отмечается, что в условиях Полтавской области минеральные и органические удобрения, внесенные под основную вспашку, оказывают более сильное влияние на повышение урожая озимой пшеницы в годы с поздней весной и меньшее — в годы с ранней.

Таблица 6.3

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной (относительно эффективности основного удобрения) продолжительности осенней вегетации озимой пшеницы

Оценка продолжительности периода	Относительная прибавка урожая зерна от удобрений, % от ее значения при оптимальной продолжительности осеннего периода	Продолжительность периода (дни) сев — прекращение вегетации растений осенью при внесении удобрений	
		под вспашку	под предпосевную культивацию
Недостаточная	<70	<38	<20
Посредственная	70—90	38—51	20—52
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	52—56—59	53—62—66
Большая	90—70	60—63	67—74
Избыточная	<70	>63	>74

При этом влияние срока возобновления вегетации растений на эффективность удобрений сильнее, чем влияние влагообеспеченности растений.

В весенний период, как известно, происходит интенсивное образование вегетативной массы и формирование элементов продуктивности растений и поэтому он совпадает с периодом максимального потребления питательных веществ у озимых хлебов, который, согласно [83], продолжается от выхода в трубку до полного выколашивания — начала цветения.

Продолжительность весны принято характеризовать продолжительностью периода между датами перехода температуры воздуха через 5 и 15 °С в сторону повышения. Этот период совпадает с периодом возобновления вегетации растений весной — колошение озимых, который включает в себя «критический» [15] период по отношению растений к влаге. Обычно короткая весна (по [146] менее 38 дней) относительно теплая и сухая, что характерно для резко континентального климата; продолжительная весна (по [146] более 60 дней) часто относительно прохладная и влажная, что характерно для океанического климата. Поэтому обработка результатов опытов с удобрениями, проведенными ВИУА, показала относительно четкую связь эффективности минеральных удобрений с продолжительностью периода между датами перехода температуры воздуха через 5 и 15 °С весной (рис. 6.2). В опытах минеральные удобрения вносились под вспашку (на глубину 16—22 см) и предпосевную культивацию (на глубину 8—12 см)

в дозе по 30—45 кг N, P₂O₅ и K₂O на 1 га (из них 20—30 кг N/га использовались весной в подкормку).

Как видно из рис. 6.2, при относительно короткой весне (≤ 45 дней), характерной для более континентального климата, минеральные удобрения целесообразнее вносить под вспашку, т. е. заделывать в более глубокие и влажные слои почвы; при

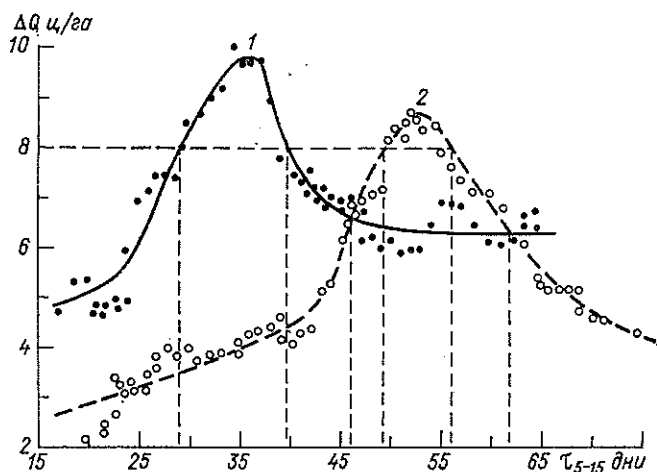


Рис. 6.2. Прибавка урожая зерна озимой пшеницы ΔQ от внесения основного удобрения под вспашку (1) и предпосевную культивацию (2) в дозе по 30—45 кг N, P₂O₅ и K₂O на 1 га при разной продолжительности весны τ_{5-15} .

продолжительной весне (> 45 дней), характерной для более влажного климата — под культивацию перед посевом. Еще Д. Н. Прянишниковым [95] было отмечено, что по мере увеличения засушливости климата необходимо производить более глубокую заделку удобрений (в более влажные слои почвы).

Судя по рис. 6.2, наибольшая эффективность удобрений при внесении туков под вспашку и предпосевную культивацию оказалась при продолжительности весеннего периода в среднем 35 и 52 дня соответственно (табл. 6.4). Как видно, прибавка урожая зерна озимой пшеницы от внесения NPK в дозе по 30—45 кг д.в./га при внесении под вспашку снижается в среднем на 30 % и более в годы с очень коротким весенним периодом (в среднем < 27 дней). При внесении туков под предпосевную культивацию такое же снижение эффективности удобрений имеет место в годы, когда продолжительность периода между датами перехода температуры воздуха через 5 и 15 °C составляла < 45 дней. Аналогичное снижение действия удобрений на урожай при их внесении под вспашку или предпосевную культивацию наблюдается в годы, когда весенний период длится соответственно > 44 и > 63 дней.

Таким образом, под вспашку основное удобрение целесообразнее вносить в районах с незначительной продолжительностью весеннего периода (≤ 45 дней), а под предпосевную культивацию — в районах с продолжительной весной (≥ 45 дней) (рис. 6.3).

Для построения карты-схемы, приведенной на рис. 6.3, использован композиционный метод районирования эффективности удо-

Таблица 6.4

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной (относительно эффективности основного удобрения под озимую пшеницу) продолжительности периода (дни) между датами перехода температуры воздуха весной через 5 и 15 °С

Оценка продолжительности периода	Относительная прибавка урожая зерна, % от ее значения при оптимальной продолжительности периода	При внесении удобрений в дозе 30–45 г N P_2O_5 и K_2O на 1 га	
		под вспашку	под предпосевную культивацию
Недостаточная	<70	<27	<45
Посредственная	70–90	27–31	45–48
Оптимальная и субоптимальная	90–100–90	32–35–38	49–52–57
Большая	90–70	39–44	58–63
Избыточная	<70	>44	>63

брений (функции в виде прибавок урожая зерна) по продолжительности весеннего периода (аргумента) на основании графиков связи, представленных на рис. 6.2.

Как видно на рис. 6.3, в северо-западных районах Европейской части СССР (ЕЧС), в юго-западных районах Молдавии, в южных районах Краснодарского и Ставропольского краев, а также в Северо-Кавказских автономных республиках основное удобрение на посевах озимой пшеницы в среднем многолетнем разрезе целесообразнее вносить под предпосевную культивацию, на остальной территории ЕЧС — под вспашку. При этом четко выделяются зоны с высокой эффективностью удобрений (от внесения удобрений в дозе по 30–45 кг N, P_2O_5 и K_2O на 1 га прибавки урожая зерна равны 8 ц/га и более). Анализ показал также, что граница между районами целесообразного внесения удобрений под вспашку и предпосевную культивацию от Пермской области до Молдавии совпадает с линией 5 %-ной вероятности засух средней и сильной интенсивности.

Безусловно, вопрос о способах и глубине заделки туков требует дальнейшего исследования. Однако приведенные разработки могут быть использованы на практике при внедрении интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы уже в настоящее время.

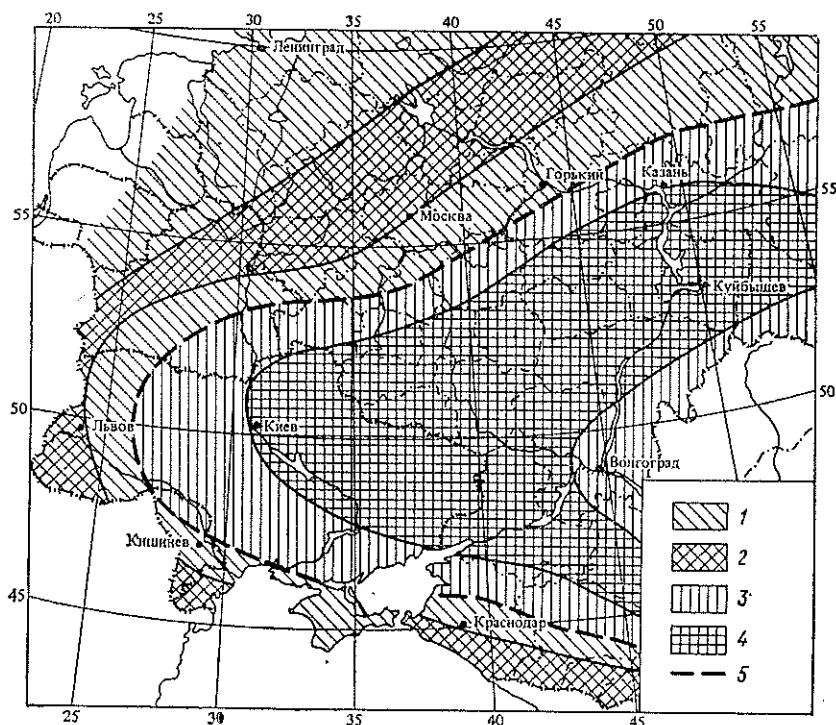


Рис. 6.3. Зоны целесообразного внесения основного удобрения озимой пшеницы под предпосевную культивацию (1, 2) и вспашку (3, 4).

1 и 3 — прибавки урожая зерна от внесения НРК по 30—45 кг д. в. га менее 8 ц/га; 2 и 4 — то же 8 ц/га и более, 5 — условная граница зон.

6.3. Эффективность осенних и весенних подкормок озимых посевов и степень развития растений осенью

Эффективность осенних и весенних подкормок озимых минеральными удобрениями зависит от многих факторов, главными из них являются: условия погоды, сроки сева, почвенное плодородие и предшественники. Действие удобрений на урожай неразрывно связано также с состоянием растений, с их развитием и биологическими свойствами. Известно, что состояние растений сельскохозяйственных культур, их потребности в элементах питания, а также их потенциальные возможности потребления и использования питательных веществ в свою очередь зависят от плодородия почвы, времени и интенсивности протекания процессов метаболизма в отдельные периоды онтогенеза, а также от климатических условий. Поэтому почва (как система), фактор времени и климатические факторы обуславливают доступность удобрений и влияют на состояние посева, что в конечном счете определяет эффективность удобрений. Очевидно, что состояние

растений как интегральный результат взаимодействия всех факторов среды может служить предиктором при оценке эффективности удобрений, вносимых в виде подкормок посевов сельскохозяйственных культур.

Эффективность применения на том или ином поле осенней и весенней подкормки озимых посевов чаще всего обусловлена сроком сева. В зависимости от срока сева растения попадают в различные условия произрастания осенью, что предопределяет их состояние и степень развития. Степень же развития растений и их состояние перед уходом в зиму, характеризующиеся в первом приближении фазой развития и коэффициентом кущения, являются интегральными показателями взаимодействия растений со всем комплексом внешних и внутренних факторов и в значительной степени определяются хозяйственной деятельностью человека.

Специальные агрометеорологические опыты, проведенные в Горьковской, Московской, Калужской и Брянской областях и Удмуртской, Марийской и Мордовской автономных республиках Нечерноземной зоны, показали, что условия погоды осенью оказывают существенное влияние на прибавку урожая зерна озимой пшеницы и ржи от применения осенних подкормок по всходам посевов минеральными удобрениями [132, 136].

Поздние посевы по сравнению с ранними обычно произрастают при пониженном температурном режиме. При низкой положительной температуре ($4-8^{\circ}\text{C}$) происходит снижение темпов роста и других жизненных процессов, но менее заметно, чем замедление поступления питательных веществ в растения. Особенно сильно снижается поступление фосфора (в 5—6 раз) и азота (в 2—3 раза) в корни, их передвижение из корней в надземные органы и включение в органические соединения, происходит большое накопление питательных веществ в корнях с относительным преобладанием азота над фосфором. Таким образом, при низкой температуре почва становится физиологически бедной питательными веществами, а имеющиеся в ней фосфор и азот усваиваются слабо. В таких случаях можно ожидать высокой эффективности подкормки минеральными удобрениями (азотом и фосфором). Исследования показали, что чем продолжительнее период воздействия на растения низкой температуры осенью, тем выше эффективность азотных и фосфорных подкормок посевов озимой пшеницы.

В естественных условиях имеет место пространственно-временная изменчивость температуры воздуха и почвы. Растения очень хорошо приспособлены к температурным градиентам. Корневая система приобретает способность роста, поглощает воду и питательные вещества при низкой температуре, если часть корней растений хотя бы несколько часов в сутки находилась при температуре выше угнетающей.

При внесении удобрений в виде подкормки часть их попадает на поверхность почвы, затем переходит в почвенный раствор и в той или иной степени усваивается корневой системой растений.

Некоторая же часть туков попадает на листья и стебли, и через эпидермис, которому, как давно известно, также присущи функции поглощения, они могут быть использованы растительным организмом. Приземные слои воздуха, в которых находится надземная часть растений, особенно в дневные часы, имеет обычно более высокую температуру, чем температура почвы, что значительно расширяет потенциальные возможности растений использовать питательные вещества, внесенные в виде подкормки.

Считается, что избыток азота в начальный период роста озимых может существенно снижать их устойчивость к низкой температуре и другим неблагоприятным условиям зимнего периода. Однако умеренные дозы азота не вызывают отрицательных явлений. Доказано, что азотные осенние подкормки в дозе 20—30 кг/га при размещении озимых по занятому пару даже не перекрывают той разницы в азоте, которая оказывается обычно в почве занятого пара по сравнению с чистым.

Следует также иметь в виду, что озимые в осенний период в своих органах запасают азот. Давая растениям в этот период достаточное количество усвояемого азота, можно обеспечить потребность растений в азоте не только для осеннего развития, но и для развития в будущем году. В этом важная роль принадлежит осенней подкормке посевов азотом.

В почвах занятых паров нитратов накапливается мало и для питания растений азота в почве часто бывает недостаточно. Поэтому осенняя подкормка озимых может давать существенный эффект, особенно если перед севом азотные удобрения не вносились. Кроме того, нередко сев по занятому пару проводится с некоторым опозданием из-за несвоевременного освобождения поля и его подготовки. В результате растения озимых хлебов уходят в зиму в недоразвитом состоянии, недостаточно раскустившимися. Как показывают полевые опыты с разными сроками сева озимой пшеницы по занятому пару, применение азотных и фосфорных (суперфосфатных) подкормок по всходам оказывалось целесообразным, если кустистость к моменту прекращения вегетации осенью была менее двух побегов на одно растение. Причем, чем слабее развитие посевов осенью, тем больше они нуждаются в подкормке. В тех случаях, когда посевы уходили в зиму в фазах всходов и 3-го листа, прибавка урожая зерна озимой пшеницы от внесения азотной и фосфорной подкормки в дозе 30 кг д. в/га достигала 3—7 ц с каждого гектара. Связь прибавок урожая зерна озимой пшеницы ΔQ (ц/га) от осенних подкормок (по всходам) в дозе 30 кг д. в/га с фазой развития растений перед уходом в зиму выражается линейным уравнением

$$\Delta Q = a(2,5 - \beta_0), \quad (6.4)$$

где a — коэффициент, $a=3$ при подкормке азотом, $a=1$ при подкормке фосфором (суперфосфатом); β_0 — количество стеблей одного растения ко времени прекращения вегетации растений осенью; для фазы всходов $\beta_0=0$, для фазы 3-го листа $\beta_0=0,5$.

На чистых, особенно заправленных парах из-за более благоприятного агрометеорологического режима корнеобитаемого слоя почвы образование нитратов в почве идет более энергично, и за летний период в пахотном слое их обычно накапливается значительное и при своевременном севе вполне достаточное количество для обеспечения нормального развития растений осенью. Чаще всего такие посевы не требуют осенней подкормки азотом, так как она может вызвать перерастание растений и снизить их зимостойкость. Однако и при севе по чистому пару, после холодного лета или при запаздании с севом возникает необходимость в применении осенних подкормок озимых минеральными удобрениями. Так, на посевах озимой пшеницы и ржи по чистому хорошо удобренному пару, ушедших в зиму в фазах всходов и 3-го листа, осенняя подкормка азотными удобрениями в дозе 30 кг д. в/га оказалась эффективной: прибавка урожая зерна составила 1,5—3 ц/га. Подкормка озимых посевов, вступивших к моменту прекращения вегетации в фазу массового кущения, не дала существенного результата, а в отдельных опытах наблюдалось снижение урожая зерна.

Таким образом, независимо от того, хороший предшественник или плохой, бедна почва или плодородна, вносились удобрения (в рядки и перед севом) или не вносились, если ожидается, что растения к концу осенней вегетации не смогут достигнуть нормального развития, то такие посевы озимых осенью надо подкармливать. Неважно также, по какой причине осенний период вегетации для озимых оказался коротким, с недостаточным количеством тепла: из-за неблагоприятно сложившихся метеорологических условий, раннего установления зимнего режима погоды или позднего срока сева. Чем позже проведен сев, тем хуже бывают обычно агрометеорологические условия для роста и развития озимых культур в осенний период и, следовательно, тем больше вероятность необходимости осенней подкормки на посевах озимых.

Так, в Калужской области 1—2 года из каждых 10 лет наблюдается короткая прохладная осень, когда даже при обычных сроках сева (25 августа) тепла бывает недостаточно и озимые не успевают нормально развиваться, и, естественно, им необходима осенняя подкормка. При севе 5 сентября из-за недостатка тепла озимые осенью надо обязательно подкармливать.

Проводимые ежегодные наземные и авиационные обследования озимых культур показывают, что, как правило, до 50 % обследованных посевов в колхозах и совхозах Нечерноземной зоны к моменту прекращения вегетации были в слабо и плохо развитом состоянии в основном из-за опаздывания с севом. Вполне естественно, что для таких посевов требовалась осенняя подкормка минеральными удобрениями. Например, в северной части Нечерноземной зоны осенняя подкормка озимых обычно целесообразна даже на августовских посевах, в южной — только на сентябрьских. Разница между средними сроками сева озимых и сроками,

позднее которых необходима осенняя подкормка, составляет 1,5—2 недели.

Действие ранних весенних подкормок минеральными удобрениями также во многом связано с состоянием озимых культур в осенний период. По данным полевых экспериментов с сортами Мироновская 808, Ульяновка, Горьковская 52, Пшенично-пырейный гибрид ППГ-186 связь между прибавкой урожая от весенних подкормок ΔQ (ц/га) в дозе 30 кг д.в/га и фазой развития растений перед зимовкой аналитически описывается следующим уравнением:

$$\Delta Q = \frac{15}{1,4 + (C - \beta_0)^2} - d, \quad (6.5)$$

где β_0 — количество стеблей одного растения ко времени прекращения вегетации осенью (для фазы прорастания $\beta_0 = -0,5$, для фазы всходов $\beta_0 = 0$, для фазы 3-го листа $\beta_0 = 0,5$); C и d — коэффициенты, при подкормке азотом $C = 1,6$ и $d = 5$, при подкормке фосфором (суперфосфатом) $C = 1,8$ и $d = 6$.

Из уравнения (6.5) следует, что действие весенних подкормок на урожай снижается (независимо от сорта) и на слабо и на хорошо развитых с осени посевах. Так, если озимая пшеница осенью уходила в зиму в фазе всходов, то и азотная и фосфорная подкормки давали отрицательный результат. Вероятно, на слабо развитых посевах удобрения оказывали токсическое действие на растения. С увеличением степени развития растений, при кустистости более двух побегов на одно растение эффективность весенних подкормок в опытах имела тенденцию снижения. В таких случаях удобрения сильно активизируют рост надземной части растений, у посевов увеличивается склонность к полеганию и возникает диспропорция в развитии генеративных органов и вегетативной массы растений, что отрицательно сказывается на урожайности.

6.4. Продуктивность посевов и продолжительность межфазных периодов

Вполне понятно, что рост и развитие растений не происходит мгновенно и для любого физиологического процесса их жизнедеятельности необходимо некоторое время. Со скоростью развития растений связана продолжительность отдельных межфазных периодов. С последней связаны его высота, надземная масса и, следовательно, фотосинтезирующая поверхность, масса корней, количественные характеристики элементов структуры урожая и его величина. Рассмотрим изменение некоторых параметров растений зерновых и их урожайности под влиянием продолжительности отдельных межфазных периодов развития.

Прослеживается четкая зависимость высоты растений перед уходом озимой пшеницы (сорт Мироновская 808) в зиму от продолжительности периода всходы — прекращение вегетации осенью.

Так, по мере увеличения продолжительности этого периода осенней вегетации растений озимой пшеницы от одного до 50—55 дней высота растений в конце осени возрастает в среднем с 7—8 см до 19—20 см. Таким образом, чем больше продолжительность осенней вегетации, тем больше к концу осени высота растений. При дальнейшем увеличении продолжительности осенней вегетации озимой пшеницы рост растений замедляется и они к концу осени оказываются более низкорослыми. Длительная осенняя вегетация сопровождается обычно повышенным температурным режимом и некоторым дефицитом увлажнения. При этом ростовые процессы в листьях несколько подавлены, но идет относительно интенсивное кущение и рост боковых побегов. Как было показано, высокорослые посевы озимых зимуют хуже, что, естественно, сказывается на урожае.

Наиболее высокая урожайность озимой пшеницы Мироновская 808 наблюдается в том случае, если семена начинают прорастать на 2-й—4-й день после сева, а весь период от сева до прекращения вегетации растений составляет в среднем 46 дней (табл. 6.5). Если семена озимой пшеницы, попадая в сухую почву, длительное время (>13 дней) не прорастают, то всходы оказываются сильно изреженными и урожайность существенно снижается (на 30 % и более). Такое же снижение урожайности зерна этой культуры наблюдается при длительной осенней вегетации (порядка двух и более месяцев).

Существенное влияние на сохранность посева зимой и урожайность озимой пшеницы оказывает длительность периода зимнего покоя растений [74, 148]. На рис. 6.4 представлена зависимость урожайности озимой пшеницы Мироновская 808 от продолжительности периода прекращения вегетации растений осенью — ее возобновление весной. Видно, что при увеличении продолжительности периода от 100 до 165 дней урожайность озимой пшеницы возрастает с 19 до 27 ц/га. При большей продолжительности этого периода наблюдается тенденция к некоторому снижению урожайности. В таких случаях, особенно при большой высоте снежного покрова, обычно имеет место явление выпревания озимых посевов, часто наблюдается снежная плесень и растения из-под снега выходят ослабленными и изреженными [74, 148]. Короткий период зимнего покоя чаще всего сопровождается бесснежьем («черные зимы») или малоснежьем. При этом наблюдается повышенная изреженность озимых от низких температур. Обычно создается стрессовая ситуация и урожайность озимой пшеницы снижается на 30 % и более, если продолжительность периода от прекращения (осенью) до возобновления вегетации растений весной составляет в среднем менее 123 дней (см. табл. 6.5).

В весенне-летний период вегетации озимой пшеницы наблюдается еще большее, чем в осенне-зимний период, влияние темпов развития растений на урожайность. На рис. 6.5 представлена зависимость урожайности озимой пшеницы двух сортов от продол-

жительности отдельных межфазных периодов. Эта связь выражается семейством выпуклых кривых с одним максимумом. Кривые связи урожайности с продолжительностью межфазных периодов озимой пшеницы имеют существенные сортовые различия: у сорта

Таблица 6.5

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной (относительно урожайности) продолжительности отдельных межфазных периодов (дни) для озимой пшеницы Мироновская 808 осенью и периода зимнего покоя

Оценка продолжительности периода	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальной продолжительности периода	Сев—начало прорастания	Сев—прекращение вегетации растений осенью	Прекращение вегетации (осенью)—возобновление вегетации растений (весной)
Недостаточная	<70	×	—	<123
Посредственная	70—90	×	—	123—150
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	2—4	24—46	151—165—200
Большая	90—70	5—13	47—59	201—?
Избыточная	<70	>13	>59	—

Мироновская 808 наибольшая урожайность (37—48 ц/га) наблюдается в том случае, если продолжительность периодов появления нижнего узла соломины над поверхностью почвы — колошение, колошение — восковая спелость и колошение — молочная спе-

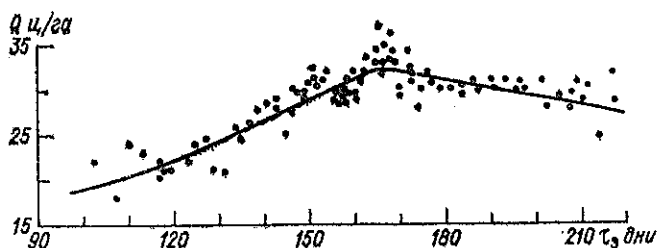


Рис. 6.4. Связь урожайности Q озимой пшеницы Мироновская 808 с продолжительностью периода зимнего покоя T_z .

лость соответственно равны 32, 55 и 27 дней; у сорта Безостая 1 (27—29 ц/га) — в тех случаях, когда указанные периоды соответственно на 4, 13 и 9 дней короче (табл. 6.6).

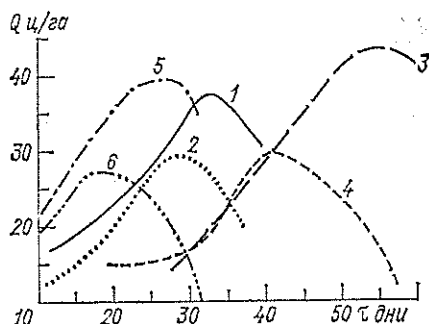
При продолжительности периода стеблевания (до начала колошения) для сортов Мироновская 808 и Безостая 1 менее 24 и 21 дня соответственно, для сорта Безостая 1 более 36 дней, урожайность снижается в среднем на 30 % и более. Такое же снижение урожайности озимой пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1 наблюдается при коротком (<15 и 11 дней соответственно) и избыточно длинном (>27 дней у сорта Безостая 1) периоде созревания: от молочной до восковой спелости. В первом

случае наблюдается явление «запала», во-втором — создаются условия для «стекания» зерна.

На рис. 6.6 показано влияние темпов развития растений ярового ячменя (четыре сорта) на урожайность этой культуры. Видно, что изменение продолжительности периода сев — 3-й лист

Рис. 6.5. Связь урожайности озимой пшеницы Q с продолжительностью межфазных периодов τ .

1, 2 — появление нижнего узла соломины над поверхностью почвы — колошение; 3, 4 — колошение — восковая спелость; 5, 6 — молочная — восковая спелость; сорта: 1, 3 и 5 — Мироновская 808; 2, 4 и 6 — Безостая 1.



в интервале от 9 до 21 дня сопровождается почти линейным ростом урожайности с 36 до 58 % ее сортового максимума. Дальнейшее увеличение продолжительности этого периода от 21 до 42 дней влечет за собой снижение (практически линейное) урожайности с 58 до 37 % ее сортового максимума. Зависимость

Таблица 6.6

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной (относительно урожайности) продолжительности отдельных межфазных периодов (дни) для озимой пшеницы в течение весенне-летней вегетации

Оценка продолжительности периода	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальной продолжительности периода	Появление нижнего узла соломины над поверхностью почвы — колошение		Колошение — восковая спелость		Молочная — восковая спелость	
		Мироновская 808	Безостая 1	Мироновская 808	Безостая 1	Мироновская 808	Безостая 1
Недостаточная	<70	<24	<21	<42	<34	<15	<11
Посредственная	70—90	24—28	21—24	42—47	34—36	15—19	11—14
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	29—32—37	25—28—33	48—55—?	37—42—46	20—27—31	15—18—24
Большая	90—70	38—?	34—36	?	47—52	32—?	25—27
Избыточная	<70	?	>36	?	52	?	>27

урожайности от продолжительности периода 3-й лист — колошение описывается также выпуклой кривой с максимумом (равным в среднем 53 % сортового максимума урожайности) при продолжительности этого периода около 40 дней (табл. 6.7). Зависимость урожайности этой культуры от продолжительности периода колошение — молочная спелость в интервале от 7 до 29 дней описывается монотонно возрастающей кривой.

Как видно из табл. 6.7, при продолжительности периодов сев — 3-й лист, 3-й лист — колошение и колошение — молочная спелость соответственно <11, 27 и 9 дней урожайность ячменя снижалась в среднем на 30 % и более. Такое же снижение урожайности отмечалось при продолжительности периода сев — 3-й лист более

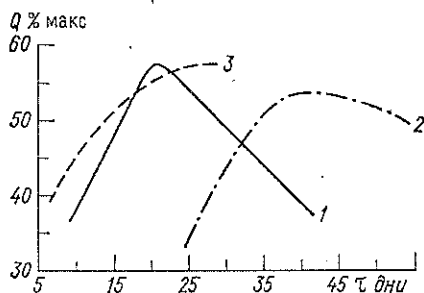


Рис. 6.6. Связь урожайности Q ярового ячменя с продолжительностью межфазных периодов t .

Межфазные периоды: 1 — сев—3-й лист, 2 — 3-й лист—колошение, 3 — колошение—молочная спелость.

38 дней. Избыточной продолжительности периодов 3-й лист — колошение и колошение — молочная спелость у ячменя (когда урожайность снижалась на 30 % и более) по имеющимся в нашем распоряжении данным не наблюдалось.

Для овса относительно тесно связаны продолжительность периода сев — выметывание метелки, высота растений в конце пе-

Таблица 6.7

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной (относительно урожайности) продолжительности межфазных периодов для ярового ячменя

Оценка продолжительности периода	Относительная урожайность, % от значения при оптимальной продолжительности периодов	Продолжительность межфазных периодов (дни)		
		посев—3-й лист	3-й лист—колошение	колошение—молочная спелость
Недостаточная	<70	<11 (9—10)	<27 (25—26)	<9 (7—8)
Посредственная	70—90	11—16	27—32	9—15
Оптимальная и субоптимальная	90—100—900	17—21—28	33—40—? (>55)	16—28—? (>29)
Повышенная	90—70	29—38	?	?
Избыточная	<70	>38 (39—42)	?	?

риода и количество закладываемых цветков, а следовательно, количество зерен в метелке при созревании посевов. Продолжительность периода от выметывания метелки до уборки урожая оказывает заметное влияние на продуктивность метелки и урожайность. Так, при увеличении продолжительности периода сев — выметывание метелки от 41 до 65 дней высота растений овса в конце периода возрастает от 29 до 65 см. Дальнейшее увеличение продолжительности этого периода до 90 дней влечет за собой

снижение роста растений, в результате чего высота растений снизилась до 55 см.

Как правило, длительный период сев — выметывание метелки у овса (более 65 дней) характеризуется пониженным температурным режимом и избыточным увлажнением, в результате чего ростовые процессы тормозятся. Зависимость количества зерен в метелке ко времени уборки урожая от продолжительности этого периода описывается более сложной кривой. При его продолжи-

Таблица 6.8

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной продолжительности отдельных межфазных периодов вегетации овса Победа относительно некоторых параметров состояния посева и его продуктивности

Оценка продолжительности межфазного периода	Относительная величина параметра, % от ее значения при оптимальной продолжительности периода	Продолжительность периода сев—выметывание метелки относительно		Продолжительность периода выметывание метелки—уборка относительно	
		высоты растений при выметывании метелки	количества зерна в метелке перед уборкой урожая	продуктивности одной метелки	урожайности
Недостаточная	<70	<53	<57	<39	?
Посредственная	70—90	53—60	57—60	39—48	(<25) —38
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	61—65—81	61—62—65	49—57—63	39—50—59
Большая	90—70	82—?	66—70	64—68	60—67
Избыточная	<70	—	>70	>68	>67

тельности 44—56 дней каждая метелка овса содержала по 25—30 зерен. Увеличение продолжительности периода до 62—63 дней сопровождалось существенным ростом числа зерен в метелке овса (в среднем с 30 до 46 шт.). Но последующее увеличение периода с 63 до 81 дня сопровождалось резким уменьшением количества зерен в метелке овса: от 46 до 20 шт. Последнее объясняется не только замедлением ростовых процессов, но и угнетением закладки и образования генеративных органов, а также их недоразвитием, плохим опылением цветков и не полным созреванием семян.

Увеличение продолжительности периода выметывание — уборка урожая овса от 26 до 55—56 дней сопровождается ростом массы зерна одной метелки овса в среднем с 0,65 до 1,22 г.

При увеличении длительности этого периода от 56—60 до 83 дней наблюдается снижение продуктивности метелки от 1,15—1,22 до 0,35 г, а урожайности зерна овса — в среднем от 37—35 до 5 % ее сортового максимума. Большая продолжительность этого периода у овса наблюдается также при пониженном температурном режиме и избыточном увлажнении (в основном из-за обильных осадков). В таких условиях широко распространено явление стекания зерна, а также осыпание наиболее полновесных зерен. В результате продуктивность метелок снижается, урожай овса получается чрезмерно низким.

В табл. 6.8 представлены критерии оптимальности продолжительности вегетативного (до выметывания метелки) и репродуктивного периодов относительно некоторых элементов структуры посева овса и его урожайности, полученные в результате расчетов с помощью графиков.

Как видно из данных табл. 6.8, продолжительность периода сев — выметывание метелки овса, равная 62—65 дней, является

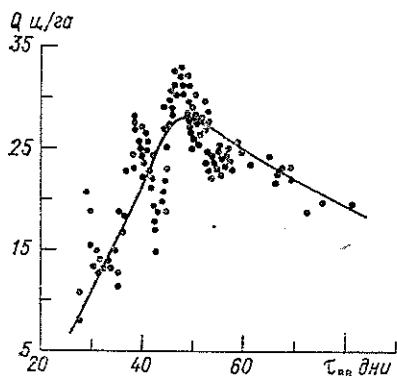


Рис. 6.7. Связь урожайности Q проса Багряное с продолжительностью периода всходы—выметывание метелки $\tau_{вв}$.

оптимальной для роста растений и образования максимального количества зерен в метелке ко времени уборки урожая. Оптимум продолжительности периода выметывание метелки — уборка относительно продуктивности метелки овса и его урожайности оказался равным 50—57 дням. Если от сева до выметывания метелки проходит менее 53—57 дней, то высота растений овса в фазу выметывания и количество зерен в одной метелке при уборке оказывались в среднем более чем на 30 % меньше значений этих показателей при оптимальной длине периода. Такое же уменьшение количества зерен в одной метелке перед уборкой урожая имело место

при продолжительности периода сев — выметывание метелки более 70 дней. Продуктивность одной метелки и урожайность снижались в среднем на 30 % и более в тех случаях, когда период от выметывания до уборки урожая превышал 67—68 дней.

Урожайность проса тоже довольно тесно связана с продолжительностью периода всходы — выметывание метелки (рис. 6.7). Сначала при увеличении продолжительности этого периода от 27 до 48 дней урожайность зерна проса увеличивалась в среднем от 8 до 28 ц/га. Дальнейшее увеличение продолжительности периода от 48 до 82 дней сопровождалось снижением урожайности зерна проса от 28 до 19 ц/га. При недостаточной (<39 дней) и избыточной (>75 дней) продолжительности периода урожайность проса уменьшалась более чем на 30 % (табл. 6.9).

Как показали наши исследования [140], урожайность гречихи связана с продолжительностью периодов сев — всходы и сев — начало массового цветения растений, а также начало цветения — созревание. Наиболее высокие урожаи гречихи наблюдались в тех случаях, когда продолжительность указанных периодов составляла в среднем 5—8, 32—58 и 30—65 дней соответственно (см. табл. 6.9). Если всходы гречихи появлялись более чем через 15 дней после сева, то урожайность зерна была более чем на 30 % ниже ее значения при оптимальной продолжительности этого периода. Такое же снижение наблюдается и в том случае,

если продолжительность периодов сев — начало массового цветения и начало цветения — созревание недостаточна ($<25-26$ дней) или избыточна ($>72-74$ дня).

Таким образом, наблюдаются определенные закономерности формирования урожайности зерновых культур в зависимости от

Таблица 6.9

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной продолжительности (относительно урожайности) отдельных межфазных периодов (дни) для гречихи и проса

Оценка продолжительности периода	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальной продолжительности периода	Гречиха		Просо
		сев—всходы	сев — начало цветения	всходы — выметывание метелки
Недостаточная	<70	—	<26	<39
Посредственная	70—90	—	26—31	39—43
Оптимальная и субоптимальная	90—100—90	<9 (5—8)	32—45—58	44—48—59
Большая	90—70	9—15	59—74	60—75
Избыточная	<70	>15	>74	>75

продолжительности отдельных межфазных периодов. Представленные в табл. 6.5—6.9 интервалы различной продолжительности отдельных межфазных периодов по степени ее оптимальности относительно некоторых характеристик агроценоза и его продуктивности могут быть использованы при количественной оценке состояния агроценоза.

Глава 7

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

7.1. Влияние температуры на рост и на развитие растений

Вопрос о зависимости темпов развития растений зерновых культур и продолжительности межфазных периодов от температуры относительно подробно рассматривался в работах [30, 77, 101, 120 и др.]. Мы коснемся лишь отдельных, заслуживающих, на наш взгляд, внимания деталей.

Почти каждый исследователь предлагает свою формулу для аппроксимации связи продолжительности межфазных периодов с температурой. Их сравнение часто дает неодинаковые результаты.

Для подтверждения этого рассмотрим в качестве примера зависимость продолжительности периода сев — всходы озимой пшеницы τ (дни) от температуры воздуха θ ($^{\circ}\text{C}$).

Так, согласно А. А. Шиголеву [120], при достаточном увлажнении почвы

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{\tau} (\theta_i - B)}{\bar{\theta} - B}, \quad (7.1)$$

где B — биологический минимум температуры (по А. А. Шиголеву, для зерновых колосовых культур $B=5^{\circ}\text{C}$); $\sum_{i=1}^{\tau} (\theta_i - B)$ — сумма эффективных температур (выше биологического минимума B), равная для рассматриваемого периода 67°C . Эта связь описывается кривой 1 рис. 7.1. Е. С. Улановой [120] получена графическая зависимость продолжительности этого периода от температуры (кривая 3 рис. 7.1).

По данным А. И. Носатовского [120], для озимой пшеницы в период сев — всходы требуется сумма положительных температур 120°C ($\sum_{i=1}^{\tau} \theta_i = 120^{\circ}\text{C}$). Эту зависимость можно выразить следующей формулой:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{\tau} \theta_i}{\bar{\theta}}. \quad (7.2)$$

Эта зависимость описывается кривой 4 рис. 7.1.

По данным Н. А. Зубарева [120], всходы зерновых появляются после того, как сумма ежедневных гидротермических коэффициентов будет равна 14. Такая зависимость описывается кривой 5 рис. 7.1.

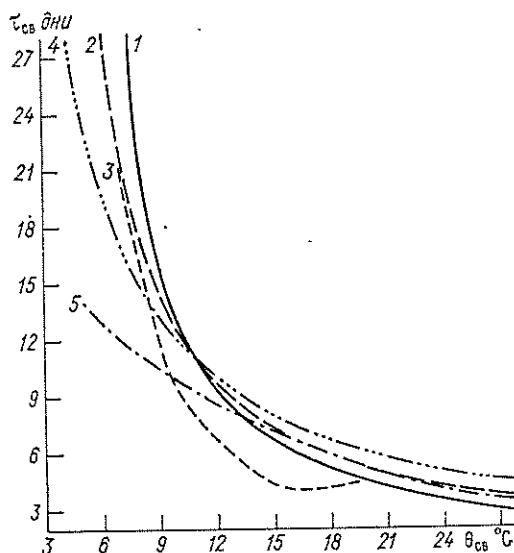


Рис. 7.1. Влияние температуры воздуха $\theta_{св}$ на продолжительность периода сев—всходы озимой пшеницы $\tau_{св}$.

По данным: 1—А. А. Шиголева [120], 2—В. П. Дмитренко [30], 3—Е. С. Улановой [120], 4—А. И. Носатовского [120], 5—Н. А. Зубарева [120].

В. П. Дмитренко [30] установил, что связь продолжительности периода от сева до всходов озимой пшеницы τ с температурой воздуха θ выражается уравнением

$$\tau = e^{-(0,000275\theta^2 + 0,015\theta + 0,2)} \quad (7.3)$$

Уравнение (7.3) достаточно хорошо описывается кривой 2 рис. 7.1.

Как показывает сравнение, кривые, представленные на рис. 7.1, имеют существенное расхождение, особенно при температуре ниже 10°C . Кривые 1, 2, 4 и 5 — монотонно убывающие и не отражают замедляющего действия на темпы всходов избыточно высокой температуры. В этой связи наиболее правдоподобной является кривая 3, построенная по данным Е. С. Улановой. На рис. 7.1 (кривая 3) видно, что оптимум температуры воздуха для периода сев—всходы равен $16\text{--}17^\circ\text{C}$. При дальнейшем увеличении температуры намечается тенденция замедления темпов появления всходов и продолжительность периода сев—всходы увеличивается.

Заслуживают внимания данные, полученные Б. С. Мошковым, Н. В. Хованской [77] при выращивании яровой пшеницы в камерах искусственного климата в широком диапазоне температур. При этом наиболее сильное замедление развития растений

яровой пшеницы происходило при снижении температуры с 12 до 10 °С. У сорта Ленинградка при температуре 12 и 10 °С фаза колошения наступала через 56 и 90 дней после сева, а фаза восковой спелости — через 159 и 270 дней соответственно. При этом 70 % растений, выращенных при температуре 10 °С, имели стерильные колосья.

Влияние температуры на рост и развитие растений прослеживается в течение всего вегетационного периода. Так, высота растений озимой пшеницы к концу осени зависит от количества тепла в предшествующий период. От суммы температур в период сев — прекращение вегетации озимой пшеницы осенью зависит кустистость растений перед зимовкой [101] и после перезимовки ко времени возобновления вегетации растений весной.

Так, наибольшая высота растений озимой пшеницы Мироновская 808 к концу осени (в среднем 21 см) наблюдалась при сумме температур за период сев — прекращение вегетации растений осенью, равной 900—950 °С, а наибольшая кустистость растений весной — при сумме температур за этот период 700—750 °С.

Для овса Победа прослеживается связь высоты растений ко времени выметывания метелок и уборки урожая со средней температурой воздуха за периоды сев—выметывание метелок и выметывание метелок—уборка урожая соответственно. В частности, в интервале изменения средних за период сев—выметывание метелки температур от 8 до 16 °С высота растений овса в конце периода почти одинакова (55—57 см). Повышение температуры в период выметывания до 23 °С вызывает резкое снижение темпов роста: высота растений в этот период составила всего 30 см. Ко времени уборки урожая наибольшая высота растений овса наблюдалась при пониженном температурном режиме в период после выметывания.

Теплообеспеченность в предшествующий период, особенно в стрессовых ситуациях, оказывает влияние на рост и развитие растений в последующие периоды.

Так, в частности, по данным нашего [135] опыта с имитацией теплого и холодного режимов осенней вегетации озимой пшеницы Мироновская 808 сумма температур в период возобновления вегетации — колошение и продолжительность этого периода существенно увеличивались.

В стрессовых ситуациях также наблюдается замедление роста и развития растений, как это было в нашем опыте с искусственным воздействием на озимую пшеницу предвесенним морозом [135]. Под предвесенним морозом здесь понимаются морозы в период от схода снежного покрова до возобновления вегетации растений весной. Низкие температуры задержали развитие озимой пшеницы, что в свою очередь вызвало более позднее наступление фаз развития растений и значительное увеличение сумм температур по межфазным периодам.

Так, в результате воздействия на озимую пшеницу предвесенним морозом интенсивностью —17,5 °С в зоне узла кущения продолжительность периода от возобновления вегетации растений

весной до колошения увеличивалась на 30 дней, а сумма температур — более чем на 60 %.

Таким образом, при расчете сроков наступления фаз колошения и созревания озимой пшеницы должны учитываться условия осени и перезимовки.

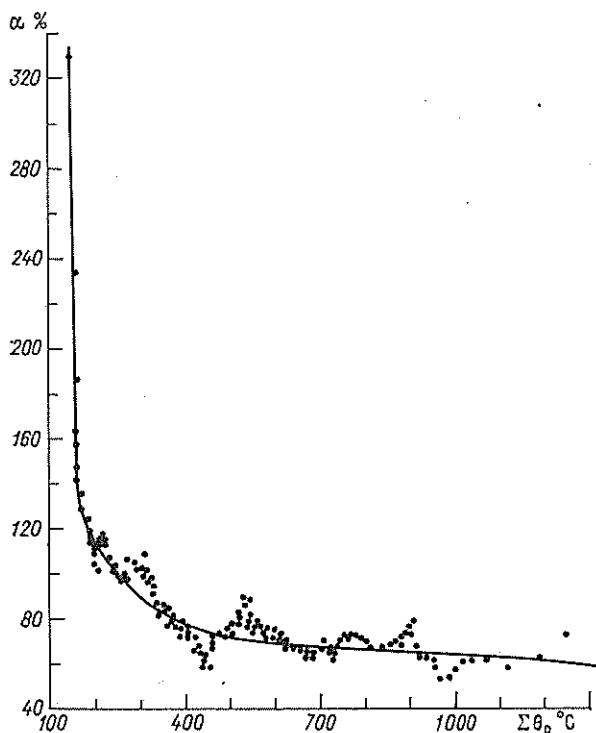


Рис. 7.2. Зависимость относительного количества продуктивных стеблей ко времени уборки озимой пшеницы α (% их количества через 10 дней после возобновления вегетации растений весной) от суммы температур $\Sigma \theta$ за период сев—прекращение вегетации растений осенью.

Прослеживается зависимость формирования продуктивных стеблей озимой пшеницы, из образовавшихся ранней весной, от теплообеспеченности осеннего периода (рис. 7.2). Как видно из рис. 7.2, после прохладной осени, когда от сева до прекращения вегетации растений накапливается сумма температур $< 250^\circ\text{C}$, их энергия кущения осенью не реализуется или реализуется неполностью. Озимая пшеница весной интенсивно кустится и ко времени уборки урожая продуктивными становятся не только образовавшиеся осенью и сохранившиеся к весне стебли, но и прошедшие стадию яровизации новые весенние стебли, вышедшие из

пазух листьев или образовавшиеся после возобновления вегетации растений после зимовки. Для того чтобы стебель стал продуктивным, он должен пройти стадию яровизации при пониженных температурах. Этому процессу способствуют возвраты холодов с заморозками весной и побеги, образовавшиеся после зимовки, в этих случаях могут проходить стадию яровизации и становиться продуктивными. Побеги, образовавшиеся осенью, но не вышедшие из пазух листьев, эту стадию завершают в течение зимнего периода, весной и летом нормально растут, развиваются и становятся продуктивными.

7.2. Влияние низкой температуры на сохранность озимых растений и урожайность

В природе имеют место случаи, когда озимые из-за отсутствия снежного покрова могут повреждаться кратковременными ранними осенними морозами. При этом в зависимости от сопутствующих условий степень повреждения растений бывает разной. Влияние предзимнего мороза на сохранность растений и урожай озимых культур обуславливается главным образом предшествующими морозу температурными условиями, режимом влажности почвы и уровнем азотного питания.

Известно, что разные условия осенней закалки и различное состояние растений создают различную морозостойкость озимой пшеницы. Поэтому зимняя сохранность растений и стеблей, подвергнутых действию предзимнего мороза, при холодной осени была значительно выше, чем при теплой (табл. 7.1.).

Эксперимент нами проводился с озимой пшеницей Мироновская 808 [133], выращиваемой в вегетационных сосудах на фосфорно-калийном и азотно-фосфорно-калийном фонах. Влажность почвы осенью поддерживалась на трех уровнях: 35, 60 и 85 % полной влагоемкости почвы, а весной и летом — на уровне 60 %. Температурный режим холодной и теплой осени моделировали в вегетационных домиках, покрытых пленкой с помощью холодильных установок и электрокалориферов. Перед уходом в зиму часть растений озимой пшеницы была подвергнута в низкотемпературной камере воздействию искусственного мороза интенсивностью $-17... -18^{\circ}\text{C}$. (В Калужской области подобные ситуации до 1 ноября наблюдаются один раз в 10 лет, а до 11 ноября — 5 раз в 10 лет.) Вполне понятно, что температура в зоне узла кущения обуславливалась не только температурой воздуха в камере, но и влажностью почвы. В нашем опыте при влажности почвы 35 % ПВ температура почвы в зоне узла кущения за 4—5 ч понижалась до $-13... -14^{\circ}\text{C}$, а при влажности 85 % ПВ — только до -5°C .

Как видно из данных табл. 7.1, при выращивании растений в условиях холодной осени после кратковременного предзимнего мороза сохранилось более 80 % растений, при теплой осени — не более 60—67 %. Таким образом, в условиях холодной и теплой

осени критическая температура (когда гибель растений достигала 50 %), оказалась весьма различной: соответственно —14 и —7 °С.

Последствие предзимнего мороза проявлялось в течение всего весенне-летнего периода. Растения, подвергавшиеся воздействию предзимнего мороза, вышли весной из-под снега с отмершими листьями. Их рост замедлился, фазы развития, включая восковую спелость, наступали с запаздыванием. Выколашивание пше-

Таблица 7.1

Влияние предзимнего мороза на перезимовку озимой пшеницы Мироновская 808 в зависимости от предшествующих условий и уровня азотного питания

Условия осени		% сохранившихся за зиму растений			
температурный режим	влажность почвы, % ПВ	без мороза		с морозом	
		РК	НРК	РК	НРК
Теплый (сумма эффективных температур 450 °С)	35	100	100	13	0
	60	98	100	37	7
	85	100	100	60	67
Холодный (сумма эффективных температур 250 °С)	35	100	100	80	97
	60	100	100	97	100
	85	100	100	100	100

ницы было недружным, массовое колошение наступило с запозданием на 8 дней. Снижение абсолютной массы зерна от предзимнего мороза достигало (в зависимости от условий осени) 30—36 %. Наиболее резкое снижение урожая зерна (более 65 %) наблюдалось в тех случаях, когда от мороза сохранилось менее 20 % растений. Когда сохранилось более 60 % растений, снижение урожая зерна от предзимнего мороза не превышало 30 %. Если гибель растений отсутствует, то проявляется стимулирующее действие предзимнего мороза на урожай, что имело место при повышенной влажности почвы в условиях холодной осени.

Выявленные закономерности крайне важно учитывать при оценке состояния озимых посевов.

Влияние мороза на сохранность озимых культур в зимний период оценивается по уровню температуры почвы в зоне узула кущения [74, 101] или по коэффициенту морозоопасности [101]. Последний рассчитывается как отношение минимальной температуры почвы в зоне узула кущения к критической температуре вымерзания растений.

Обработка данных В. М. Личикаки [101] показывает, что озимые посевы ржи, пшеницы и ячменя не вымерзают (изреженность растений не превышает 10 %), если коэффициент морозоопасности не превышает 0,68, 0,66 и 0,58 соответственно. Такие посевы не требуют ремонта (подсева, пересева). Если же коэффициент морозоопасности равен соответственно 1,01, 0,92 и 0,84, то леталь-

ный исход перезимовки наблюдается в среднем у 50 % растений. Такие посевы чаще всего целесообразно пересеять страховой яровой культурой (гречихой и др.).

В. А. Моисейчик [101] получена связь изреженности посевов озимой пшеницы весной с минимальной температурой почвы на глубине узла кушения (за период зимы до 20 февраля) и степенью развития растений осенью перед уходом в зиму. В частности, нормально развитые осенью посевы озимой пшеницы сор-

Таблица 7.2

Интервалы критического и оптимального уровня температуры почвы (°C) в зоне узла кушения озимой пшеницы относительно изреженности посева в зимний период. По данным [101]

Оценка уровня температуры	Изреженность посева к весне, %	Развитие растений в конце осени			
		всходы, 3-й лист		кушение	
		Безостая 1	Мироновская 808	Безостая 1	Мироновская 808
Критический	>50	<-17,0	<-18,0	<-18,0	<-19,0
Низкий	30-50	-15,0... -17,0	-16,0... -18,0	-17,4... -18,0	-18,0... -19,0
Посредственный	10-30	-9,5... -15,0	-10,8... -16,0	-14,5... -17,4	-16,0... -18,0
Оптимальный и субоптимальный	<10	>-9,5	>-10,8	>-14,0	>-16,0

тов Безостая 1 и Мироновская 808 обычно хорошо к весне сохраняются (изреженность менее 10 %) даже при относительно низкой температуре почвы в зоне узла кушения (до -14,5 и -16,0 °C соответственно). Для слаборазвитых посевов (ушедших в зиму в фазах всходов, 3-го листа) такая сохранность посевов обеспечивается в тех случаях, если температура почвы на глубине 3 см в срок до 20 февраля не опускалась ниже -9,5 и -10,8 °C соответственно (табл. 7.2).

Критическая температура вымерзания озимой пшеницы Безостая 1 и Мироновская 808 для слабо развитых с осени растений оказалась равной -17,0 и -18,0 °C, а для кустящихся осенью растений -18,0 и -19,0 °C соответственно.

При посредственных (по морозоустойчивости) условиях перезимовки весной обычно возникает необходимость подсева озимой пшеницы семенами ячменя ярового с половинной их нормой высева, при критических условиях — чаще всего озимую пшеницу пересевают страховой яровой культурой.

На рис. 7.3 представлена связь урожайности зерна озимой пшеницы с минимальной (за зиму) температурой почвы на глубине 3 см. Эта связь описывается сложной кривой. Обращает на себя внимание «плечо» повреждающих предкритических температур в интервале от -18 до -13 °C. В интервале от -7,5 до -0,5 °C наблюдаются наиболее высокие урожаи озимой пшеницы (табл. 7.3). При температуре ниже -4,0 °C имеет место вымерза-

ние посевов, а при температуре в зоне узла кушения выше этого предела — выпревание. Температура в зоне узла кушения ниже $-11,2^{\circ}\text{C}$ обуславливала снижение урожайности озимой пшеницы от подмерзания растений в среднем на 30 % и более от ее значе-

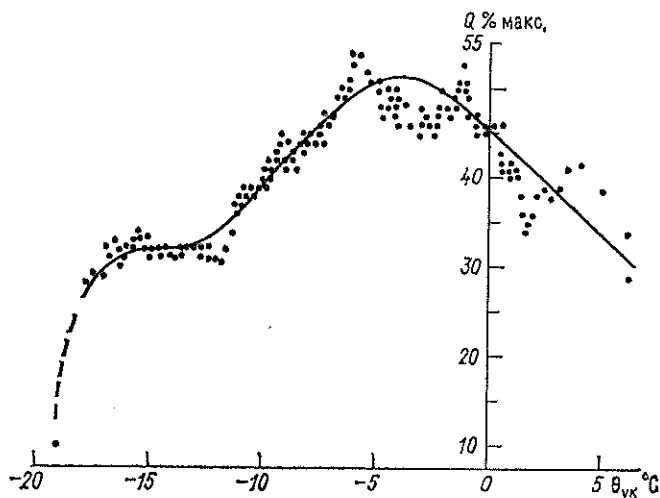


Рис. 7.3. Зависимость урожайности озимой пшеницы Q (% сортового максимума) от абсолютного минимума температуры почвы $\theta_{ук}$ в зоне узла кушения за зимний период.

ния при оптимальной температуре. Такое снижение урожайности озимой пшеницы имеет место при интенсивных процессах выпревания посевов, когда в зоне узла кушения растений температура повышается до 4°C и более и при этом активизируются их дыхание и другие процессы жизнедеятельности.

Таблица 7.3

Интервалы низкой, оптимальной и повышенной температуры почвы в зоне узла кушения озимой пшеницы относительно ее урожайности

Оценка уровня температуры	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальной температуре	Абсолютный минимум за зиму, $^{\circ}\text{C}$
Критический	≤ 50	$\leq 18,0$
Низкий	50—70	$-18,0 \dots -11,2$
Посредственный	70—90	$-11,2 \dots -7,5$
Оптимальный и субоптимальный	90—100—90	$-7,5 \dots -4,0 \dots -0,5$
Повышенный	90—70	$-0,5 \dots 4,0$
Избыточно высокий	< 70	$> 4,0$

Из сравнения данных табл. 7.2 и 7.3 видно, что критерии оптимальности уровня температуры почвы в зоне узла кущения озимой пшеницы онтологически изреженности к весне и урожайности зерна не совпадают. Так, в частности, 10 %-ная изреженность посева весной наблюдается при температуре почвы на глубине 3 см (в зависимости от степени осеннего развития) $-9,5 \dots -16,0^{\circ}\text{C}$, а 10 %-ное снижение урожайности зерна озимой пшеницы — при температуре $-7,5 \dots -0,5^{\circ}\text{C}$. Изреженность посева на 30 % имеет место при температуре в зоне узла кущения $-15,0 \dots -18,0^{\circ}\text{C}$. Такое же снижение урожайности наблюдается при температуре $-11,2^{\circ}\text{C}$. Таким образом, различия критериев оптимальности уровня температуры относительно сохранности в зимний период и урожайности озимых культур должны учитываться при оценке состояния посевов.

Основной причиной гибели озимых культур на больших площадях в Черноземной зоне, а в малоснежные годы (5—10 % лет) и в Нечерноземной, является вымерзание [74]. В районах с устойчивой зимой вымерзание посевов обычно наблюдается в первой половине зимы, а в южных и крайних западных районах с неустойчивым залеганием снежного покрова озимые могут вымерзать как в первой, так и во второй половине зимы. Как известно, от морозов у растений повреждаются или погибают в первую очередь наиболее развитые побеги, конус нарастания которых находится на втором этапе органогенеза. Из поздних побегов выживаемость больше на тех посевах, которые удобрялись высокими дозами азота (до 10 ц/га сульфата аммония) [140]. С другой стороны, ряд исследователей указывают, что положительное действие азота на морозостойкость посевов проявляется при ограниченном его внесении [40, 75, 118], а внесение калия и фосфора значительно повышает холодостойкость растений [40].

По Н. Н. Яковлеву [148], весенние колебания температуры, а также частое оттаивание и замерзание почвы в ранневесенний период не оказывают существенного влияния на выживаемость озимой пшеницы, если ее перезимовка протекала благополучно.

В нашем контролируемом эксперименте с озимой пшеницей этот тезис не подтверждается [135]. Имитация условий осени и воздействие предвесенним морозом проводилось в эксперименте с предзимним морозом. Термические условия произрастания в осенний период приведены в табл. 7.4.

Влажность почвы в течение всего эксперимента поддерживалась на оптимальном уровне (около 60 % ПВ). Перезимовка растений проходила под естественным снежным покровом, в условиях, близких к оптимальным (температура почвы в зоне узла кущения не опускалась ниже -8°C и выпадения растений не наблюдалось).

Как видно из табл. 7.4, в результате различия температурных условий и разного уровня минерального питания развитие растений к концу осенней вегетации было не одинаковым. Различия в кустистости по вариантам опыта составили от одного (в ва-

рианте НРК — фон) до трех побегов (в варианте с повышенным калийным питанием). Причем при прохладных условиях произрастания с наличием заморозков в течение $\frac{1}{3}$ осеннего периода растения получили более высокую закалку и, следовательно, были более морозостойкими.

Через четыре дня после схода снежного покрова перед возобновлением вегетации половина опытных растений с помощью

Таблица 7.4

Термические условия произрастания озимой пшеницы в осенний период и состояние растений перед зимовкой

Показатель	Имитация условий осенью	
	теплых	прохладных
Продолжительность периода от сева до прекращения вегетации растений, дни	58	58
Средняя температура воздуха, °C		
ночная	8,7	4,5
дневная	10,4	9,6
Дни с температурой $\leq 0^\circ\text{C}$		
число дней	7	19
%	12	33
Сумма эффективных (выше 5°C) температур, °C	260	160
Число стеблей одного растения по вариантам:		
НРК — фон	4,7	3,7
фон+2N	5,0	3,1
фон+2P	5,8	3,4
фон+2K	6,1	3,0

низкотемпературных камер были подвергнуты воздействию (в течение 12 ч) низких температур (от $-10... -11$ до $-16... -17^\circ\text{C}$) на глубине узла кушения.

Обычно к моменту схода снежного покрова озимые имеют пониженную холодоустойчивость, которая при оттаивании растений становится еще ниже [13, 40]. В Подмоскowie понижения температуры у поверхности почвы до -13°C один раз в 10 лет наблюдаются до 31 марта, а понижения температуры до -10 и -8°C — соответственно до 15 и 25 апреля. Таким образом, при ранней и неустойчивой весне имеется реальная угроза воздействия на озимую пшеницу низких температур в предвесенний и ранневесенний периоды.

Известно, что весной при наступлении достаточно теплой погоды озимые продолжают куститься. Причем, как видно из данных табл. 7.5, энергия кушения при прочих равных условиях существенно зависит от термических условий осенней вегетации. Так, на 24-й день после воздействия низких температур, растения, произраставшие осенью при пониженном температурном режиме, имели на 22—34 % стеблей больше, чем перед зимовкой. В то же

Таблица 7.5

Сохранность стеблей озимой пшеницы после предвесеннего мороза при разном уровне минерального питания

Вариант удобрений	Сохранность стеблей (%) после предвесеннего сезона					Критическая температура, вызывающая 50 %-ную гибель стеблей, °C
	без мороза (контроль)	-10... -11 °C	-12... -13 °C	-14... -15 °C	-16... -17 °C	
Теплая осень						
НРК — фон	103	90	67	20	—	-13,0... -13,5
Фон+2N	99	65	41	6	—	-11,5... -12,0
Фон+2P	104	68	56	10	—	-12,5... -13,0
Фон+2K	94	83	59	3	—	-13,0
Среднее	100	77	56	9	—	-12,5... -13,0
Прохладная осень						
НРК — фон	122	—	70	52	0	-14,5... -15,0
Фон+2N	134	—	55	42	5	-13,0... -13,5
Фон+2P	131	—	44	31	3	-13,0... -14,0
Фон+2K	134	—	77	6	2	-13,0... -13,5
Среднее	130	—	81	32	2	-13,5... -14,0

Примечания: 1. Сохранность стеблей рассчитана относительно их количества перед зимовкой (по состоянию на 10 ноября 1972 г.). 2. Под «предвесенним морозом» здесь и в дальнейшем понимаются морозы в период от схода снежного покрова до возобновления вегетации растений весной.

время количество стеблей у растений, произраставших осенью при более высоком температурном режиме, оказалось примерно на прежнем уровне. Следует отметить, что разный уровень минерального питания при теплом режиме осенней вегетации не оказал существенного влияния на темпы кущения растений весной. С другой стороны, растения, произраставшие осенью при пониженном температурном режиме, при усиленном питании отдельными элементами кустились весной более энергично — количество стеблей по сравнению с фоновым вариантом было на 9—12 % больше.

Из данных табл. 7.5 также видно, что в зависимости от температурных условий осенней вегетации и минерального питания действие предвесеннего мороза разной интенсивности проявляется по-разному.

Проведенные расчеты путем пробит-анализа показывают, что критическая температура, вызывающая 50 % -ную гибель стеблей, колеблется от $-11... -12^{\circ}\text{C}$ при теплых условиях осенней вегетации и повышенном азотном питании до $-14,5... -15^{\circ}\text{C}$ при прохладных условиях осени и нормальном (фоновом) уровне минерального питания. В целом по опыту усиление минерального питания любым из трех элементов (N, P или K) вызывало снижение морозостойкости озимой пшеницы при тех и других температурных условиях осенней вегетации.

Из отдельных элементов питания наиболее существенное влияние на урожай зерна оказало повышенное питание азотом (табл. 7.6). Это находит свое подтверждение в высказываниях ряда исследователей и, в частности, в работе [150] подчеркивается, что зерновые, особенно озимые, в связи с лучшей их обеспеченностью влагой могут эффективно использовать высокие дозы азота при достаточном фосфорно-калийном питании.

Внесение калия в повышенной дозе привело к снижению урожая. Однако действие повышенных доз азота и калия в зависимости от температурных условий в период осенней вегетации было прямо противоположным. Как видно из данных, приведенных в табл. 7.6, наибольший урожай зерна при повышенном калийном питании наблюдается при имитации условий теплой осени, при повышенном азотном питании — при имитации прохладных условий произрастания растений осенью. В варианте с повышенным фосфорным питанием при тех и других температурных условиях осени урожай зерна был одинаков.

В зависимости от уровня минерального питания и температурных условий осенней вегетации последствие низких температур на урожай зерна озимой пшеницы сказалось весьма различно. При имитации пониженного температурного режима в целом по опыту снижение урожая зерна от предвесенних морозов было заметно меньше. Из отдельных элементов питания наибольшее положительное влияние наблюдалось при повышенном азотном питании, особенно при имитации условий теплой осени. Питание калием в повышенной дозе действовало на урожай зерна резко отрицательно, особенно при произрастании растений в условиях

Таблица 7.6

Изменение урожая зерна озимой пшеницы под влиянием предвесенних морозов при разном уровне минерального питания

Вариант удобрений	Урожай зерна без мороза (контроль), г	Изменение урожая зерна от мороза (%)				Критическая температура, вызывающая 50 %-ное снижение урожая, °C
		-10... -11 °C	-12... -13 °C	-14... -15 °C	-16... -17 °C	
Теплая осень						
НРК — фон	18,2	-55	-63	-78	—	-9,0... -10,0
Фон+2N	24,5	-31	-39	-47	—	-15,0... -15,5
Фон+2P	20,0	-62	-67	-79	—	-5,5... -6,5
Фон+2K	16,6	-70	-78	-89	—	-5,0... -6,0
Среднее	19,8	-51	-62	-71	—	-10,0... -10,5
Прохладная осень						
НРК — фон	17,1	—	-40	-50	-87	-14,0... -15,0
Фон+2N	33,1	—	-31	-41	-76	-14,5... -15,5
Фон+2P	20,2	—	-32	-57	-85	-13,5... -14,5
Фон+2K	13,9	—	-53	-77	-87	-12,0... -12,5
Среднее	20,1	—	-44	-53	-83	-13,5... -14,0

Примечание. Точность опыта 5,4 %.

теплой осени. Пробит-анализ данных опыта показал, что критическая температура, вызывающая снижение урожая зерна озимой пшеницы на 50 % по сравнению с контролем, оказалось равной на варианте с повышенным азотным питанием $-14,5 \dots -15,5^{\circ}\text{C}$, а на варианте с повышенным калийным питанием $-5 \dots -6^{\circ}\text{C}$ при повышенном температурном режиме осенью и $-12 \dots -12,5^{\circ}\text{C}$ при прохладных условиях осенней вегетации.

Таким образом, реакция растений на пониженные отрицательные температуры с учетом условий осенней вегетации и уровня минерального питания озимой пшеницы четко прослеживается до самого урожая. Причем критическая температура, снижающая урожай зерна на 50 %, при повышенном азотном питании примерно на 10°C выше, чем при повышенном калийном питании.

Сравнивая данные табл. 7.5 и 7.6, видно, что 50 %-ная гибель стеблей озимой пшеницы и 50 %-ное снижение урожая зерна происходит при разной интенсивности морозов и роль отдельных элементов минерального питания при этом не однозначна.

Внесение повышенной дозы калия при воздействии на растения предвесенним морозом незначительно влияет на сохранность растений, но при этом резко снижается урожай зерна. Внесение повышенной дозы азота, наоборот, положительно сказывается на урожае зерна и отрицательно влияет на сохранность подвергавшихся воздействию предвесенним морозом растений. Фосфор в повышенных дозах действовал более ровно, чем азот и калий.

Таким образом, при воздействии на растения в предвесенний период низких температур на посевах озимой пшеницы создается стрессовая ситуация, которая должна учитываться при оценке их состояния.

7.3. Влияние положительной температуры на урожайность

Известно, что уровень температуры во многом определяет интенсивность жизненных процессов, происходящих в растениях. При низкой положительной температуре, согласно [55, 58 и др.], нарушается процесс питания растений, в частности, снижается усвоение зольных веществ и азота и их передвижение в наземные органы, подавляется синтетическая деятельность корней и фотосинтез в надземной части растений. При этом, как было показано, растения медленно растут и развиваются и, как следствие, угнетаются процессы закладки и формирования элементов продуктивности растений.

Так, в частности, для овса прослеживается относительно четкая зависимость количества колосков в метелке и во всех растениях на единице площади в фазу выметывания метелки от средней температуры воздуха за период сев — выметывание метелки. При этом при повышении температуры в период сев — выметывание метелки от $8,5$ до $15,5-16^{\circ}\text{C}$ количество колосков в метелке возрастает в среднем с 10 до 26 шт. или с учетом густоты стеблестоя с 6 до 12 тыс. шт./м². Дальнейшее повышение температуры

в этот период от 16 до 21—22 °С сопровождается относительно резким снижением количества колосков в метелке овса и их плотности на 1 м². Так, при средней температуре воздуха в период сев — выметывание метелки, равной 18,0 °С и более, количество колосков в одной метелке овса и их плотность на 1 м² уменьшается в среднем более чем на 30 % от их количества при оптимальной температуре в этот период (табл. 7.7). Такое же умень-

Таблица 7.7

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного уровня температуры в период сев — выметывание метелки овса относительно количества образовавшихся колосков

Оценка уровня температуры	Относительное количество колосков % от их числа при оптимальной температуре	Температура воздуха (°С) относительно количества колосков	
		в одной метелке	на 1 м ²
Недостаточный	<70	<13,0	<11,0
Посредственный	70—90	13,0—15,0	11,0—13,5
Оптимальный и субоптимальный	90—100—90	15,0—16,0—17,0	13,5—15,5—16,8
Повышенный	90—70	17,0—18,0	16,8—18,0
Избыточный	<70	>18,0	>18,0

шение количества колосков в метелке овса и их плотности на единице площади наблюдается в тех случаях, когда температура в этот период составляет менее 13,0 и 11,0 °С соответственно.

Определенное влияние на урожайность овса оказывает температура воздуха. При повышении средней температуры воздуха за период сев — выметывание метелки от 9—10 до 15—16 °С существенно (более чем в 3 раза) увеличивается урожайность овса. При дальнейшем повышении температуры воздуха в этот период до 21 °С заметно снижается урожайность этой культуры. Температура воздуха после выметывания метелки (до уборки урожая) в интервале от 11—12 до 16 °С почти не влияет на урожайность овса; при температуре 16—19 °С наблюдается заметное увеличение урожайности, при температуре 19—28 °С — резкое ее снижение (почти в 4 раза).

В табл. 7.8 приведены критерии оптимальности температуры воздуха, которые целесообразно использовать при комплексной оценке состояния посевов овса. Из табл. 7.8 видно, что субоптимальный интервал температуры в период сев — выметывание метелки относительно урожайности овса (13,4—15,0—17,0 °С) близко совпадает с таким же интервалом в этот период относительно количества колосков в одной метелке на 1 м² (15,0—16,0—17,0 и 13,5—15,5—16,8 °С соответственно).

Согласно В. Н. Степанову [55], в период формирования вегетативных органов хозяйственно оптимальная температура для ранних яровых культур (пшеницы, ячменя и овса) составляет

12—16 °С, что подтверждает реальность полученных нами критериев оптимальности температуры по культуре овса. При температуре воздуха за периоды сев — выметывание метелки и выметывание метелки — уборка урожая выше 20 и 23 °С урожайность овса снижается в среднем более чем на 30 % от ее значения при оптимальной температуре. Такой же недобор урожайности овса

Таблица 7.8

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного уровня температуры в течение вегетации овса относительно его урожайности

Оценка уровня температуры	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальной температуре	Температура воздуха, °С	
		сев — выметывание метелки	выметывание метелки — уборка урожая
Недостаточный	<70	<11,5	?
Посредственный	70—90	11,5—13,5	(<12)—18
Оптимальный и субоптимальный	90—100—90	13,5—15—17	18—19—21
Повышенный	90—70	17—70	21—23
Избыточный	<70	>20	>23

наблюдается при температуре воздуха в период посев — выметывание метелки ниже 11,5 °С.

Для яровой пшеницы Ленинградка оптимальная температура в вегетационный период относительно среднесуточного накопления сухой растительной массы и массы 1000 зерен составляет 13,5 °С (табл. 7.9). Табл. 7.9 составлена по данным вегетационного опыта Б. С. Мошкова, Н. В. Хаванской [77]. При этом растения выращивались в сосудах, находящихся в камерах, в которых в течение всего периода вегетации температурный режим выдерживался на заданных уровнях относительно постоянным (с колебаниями $\pm 1,0 \dots \pm 1,5$ °С).

Как видно из табл. 7.9, верхняя граница интервала недостаточного уровня температур относительно приведенных элементов продуктивности овса (когда элементы продуктивности уменьшаются более чем на 30 % от ее значения при оптимальной температуре) составляет 10—12 °С. Нижняя граница интервала избыточного уровня температур для разных элементов продуктивности яровой пшеницы колеблется в широких пределах: от 18,8 до 27,0 °С.

Для озимой пшеницы прослеживается зависимость урожайности зерна от суммы положительных температур воздуха в отдельные периоды вегетации растений (рис. 7.4). Как видно из рис. 7.4, при сумме температур $\sum \theta = 150 \dots 300$ °С в осенний период урожайность озимой пшеницы заметно увеличивается, а при $\sum \theta = 600 \dots 750$ °С — снижается. Зависимость урожайности озимой пшеницы от суммы температур в субоптимальном интервале (от 300 до 600 °С) и в интервале более 750 °С мало заметна. Зависи-

мость урожайности озимой пшеницы от суммы температур за период возобновление вегетации растений весной — колошение (в интервале 550—1200 °С) описывается монотонно убывающей кривой, а за период колошение — уборка урожая (в интервале 450—1500 °С) — монотонно возрастающей. Это соответствует общепринятым представлениям: прохладная погода в вегетативный

Таблица 7.9

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного уровня температуры относительно отдельных элементов структуры урожая яровой пшеницы Ленинградка. По данным [77]

Оценка уровня температур	Относительная величина элемента структуры, % от ее значения при оптимальной температуре	Температура воздуха (°С) в период сев—созревание относительно			
		количества зерен в одном колосе	массы 1000 зерен	продуктивности колоса	средне-суточного накопления сухой растительной массы
Недостаточный	<70	<12,0	?	<11,2	<10,1
Посредственный	70—90	12,0—13,8	(10,0)—11,2	11,1—12,7	10,1—11,1
Оптимальный и субоптимальный	90—100—90	13,8—18,0—21,5	11,2—13,5—16,4	12,7—15,0—17,5	11,1—13,5—17,1
Повышенный	90—70	21,5—27,0	16,4—18,8	17,5—21,3	17,1—22,0
Избыточный	<70	<27,0	>18,8	>21,3	>22,0

период (до колошения) оказывает положительное влияние на урожайность зерновых, а в репродуктивный период (после колошения) — отрицательное, что необходимо учитывать при оценке состояния агроценоза.

На урожайность гречихи заметное влияние оказывает температура в период сев — всходы [140]. Оптимум температур в этот период оказался равным 17,0 °С. При температуре около 10 °С и ниже и выше 24,5 °С урожайность зерна гречихи снижалась более чем на 30 % от ее значения при оптимальной температуре (табл. 7.10).

Урожайность проса также зависит от температуры и количества тепла в отдельные периоды вегетации.

Кривая связи урожайности проса Багряное с температурой воздуха в период сев — выметывание по сравнению с кривой, выражающей эту связь с температурой в целом за весь период вегетации, оказалась более пологой с большим интервалом субоптимальных температур (см. табл. 7.10). Субоптимальные суммы температур относительно урожайности зерна проса в период сев — выметывание и сев — созревание составляют в среднем 700—1200 и 1400—1750 °С соответственно. При сумме температур в указанные периоды соответственно <650 и <1375 °С, а также >1300 и >2000 °С урожайность проса понижалась более чем на 30 % от ее значения при оптимальной сумме температур (1050 и 1600 °С соответственно).

Заслуживают внимания исследования оптимума средней месячной температуры воздуха в основные периоды вегетационного цикла отдельных сельскохозяйственных культур для территории Украины [11, 33, 56 и др.]. При этом вегетационный цикл был разбит на условные периоды. Для удобства и простоты расчетов каждый из них ограничен календарными месяцами. Так, в частности, для овса по периодам его вегетационного цикла на тер-

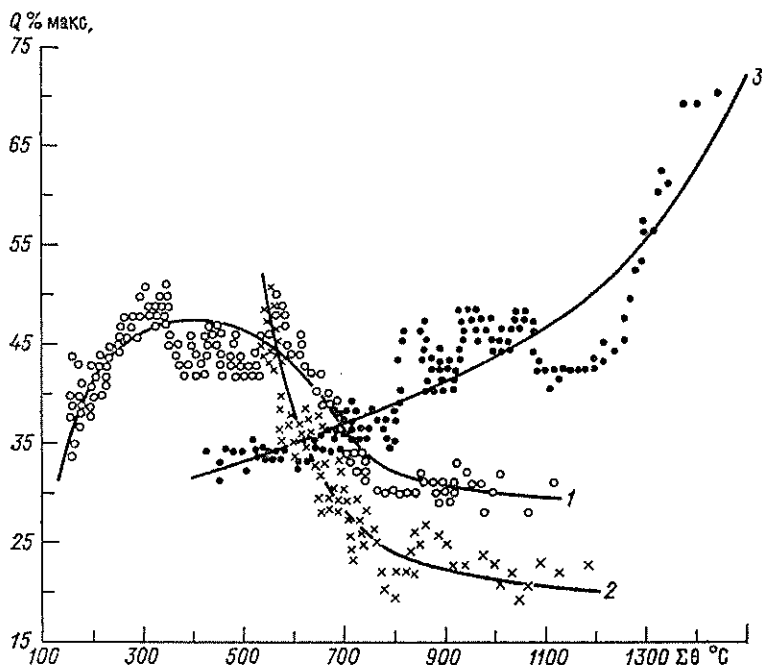


Рис. 7.4. Зависимость урожайности озимой пшеницы Q (% сортового максимума) от суммы средних суточных температур воздуха $\Sigma \theta$ за периоды сев—прекращение вегетации растений осенью (1), возобновление вегетации растений весной—колошение (2) и колошение—уборка урожая (3).

ритории Украины А. Я. Короткова [56] приводит следующие оптимальные значения средней температуры воздуха; сев — укоренение (март—апрель) 5°C , формирование вегетативных органов (май) 15°C , формирование генеративных органов (июнь) 18°C , созревание (июль) 22°C . Автор указывает, что оптимальная температура воздуха мало меняется в пределах периода по зонам Украины и близка к средней температуре. Следовательно, в среднем температурный режим для овса на Украине, согласно [56], близок к оптимальному.

В табл. 7.11 представлены интервалы различного уровня оптимальности средней температуры воздуха относительно

Таблица 7.10

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного уровня температуры воздуха относительно урожайности гречихи Богатырь и проса Багряное

Оценка уровня температур	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальной температуре	Гречиха		Просо		
		сев — всходы	всходы — кущение	кущение — выметывание метелки	сев — выметывание метелки	сев — созревание
Недостаточный	<70	<10,1	<3,7	<15,2	<4,6	<15,4
Посредственный	70—90	10,1—13,2	3,7—8,5	15,2—16,7	4,6—9,5	15,4—16,2
Оптимальный и субоптимальный	90—100—90	13,3—17,0—21,4	8,6—12,5—15,2	16,8—18,0—19,0	9,6—14,0—16,4	16,3—17,2—18,1
Повышенный	90—70	21,5—24,5	15,3—19,5	19,0—20,0	16,5—19,0	18,2—20,5
Избыточный	<70	>24,5	>19,5	>20,0	>19,0	>20,5

Таблица 7.11

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного уровня средней месячной температуры воздуха (°C) относительно урожайности озимой ржи. По данным [33]

Оценка уровня температур	Относительная урожайность, % от ее значения	Периоды вегетационного цикла, календарные месяцы					
		сев — укоренение (сев, всходы, 3-й лист), сентябрь, октябрь	рост побегов (кущение), ноябрь	зимний покой (между датами перехода температуры через 0 °C осенью и весной), декабрь, январь	формирование генеративных органов (выход в трубку — колошение), март—май	образование зерна (цветение, молочная спелость), июнь	созревание (восковая спелость), июль
Недостаточный	<70	?	?	?	<4,0	<12,0	<15,0
Посредственный	70—90	<7,8	0,0	-6,7	4,0—6,8	12,0—14,7	15,0—18,0
Оптимальный и субоптимальный	95—100—90	7,8—11,0—13,2	0,0—3,0—5,2	-6,2... -3,5... -1,3	6,8—10,0—12,2	14,7—18,0—20,3	18,0—21,0—23,0
Повышенный	90—70	13,2—15,4	5,2—7,3	-1,3... 0,7	12,2—14,4	20,3—22,3	23,0—25,0
Избыточный	<70	>15,4	>7,3	>0,7	>14,4	>22,3	>25,0

урожайности озимой ржи на Украине, составленные нами по данным В. П. Дмитренко, А. Я. Коротковой [33].

Из табл. 7.11 видно, что урожайность озимой ржи снижается на 30 % и более при теплой осени и зиме. Наивысший урожай этой культуры наблюдается в годы с температурой воздуха в сентябре—октябре 8—13 °С, в ноябре 0—5 °С и со слабыми (—1...—7 °С) морозами зимой. При повышенном температурном режиме в весенне-летний период, так же как и при пониженном, заметно снижается урожай озимой ржи.

Для гречихи по периодам ее вегетационного цикла на Украине В. В. Бибик и Н. И. Михайлова [11] приводят следующие данные по хозяйственным оптимумам температуры воздуха: сев — всходы (май) 15—17 °С, цветение (июнь) 16—18 °С, плодообразование (июль) 17—20 °С, созревание (август) 16—20 °С.

Как указывают авторы [11], оптимумы температуры воздуха для гречихи меняются от периода к периоду на 1—2 °С. Корреляционное отношение связи средней областной урожайности со средней месячной температурой воздуха по природным зонам и подзонам Украины изменяется от $0,28 \pm 0,08$ до $0,61 \pm 0,05$. Однако при пользовании хозяйственными оптимумами, приведенными в трудах УкрНИГМИ [11, 33, 56], следует иметь в виду, что они относятся к средней температуре воздуха того календарного месяца, в который наблюдались указанные выше физиологические фазы сельскохозяйственных культур, что говорит об их приближенности.

Таким образом, рассмотренные закономерности формирования продуктивности агроценоза и полученные критерии оптимальности уровня температуры относительно урожайности зерна и элементов структуры посева зерновых культур позволяют учитывать и шире привлекать температурный фактор при оценке их состояния.

Глава 8

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ УВЛАЖНЕНИЯ

8.1. Запасы продуктивной влаги и состояние агроценоза зерновых

Известно, что режим увлажнения почвы — один из основных показателей, определяющих ее плодородие. С режимом влажности почвы связаны густота всходов и сохранность растений и стеблей в течение жизненного цикла, степень и темпы развития растений, динамика их роста и формирование элементов продуктивности и в конечном счете урожайность сельскохозяйственных культур [18, 32, 36, 92, 122 и др.].

Как известно, высеянные в почву семена при наличии влаги набухают, что пробуждает (при соответствующих прочих условиях) жизнеспособную часть из них к прорастанию и проявлению всходов. В зависимости от количества влаги в почве не все проростки семян достигают всходов. Процесс прорастания и появления всходов может протекать длительное время. В частности, у озимых зерновых хлебов густота всходов относительно часто формируется в течение всей осени — от сева до прекращения вегетации растений, а иногда (при поздних сроках сева или при холодной погоде осенью) окончательные всходы появляются весной. Полнота всходов зависит от количества влаги в пахотном слое почвы. Поэтому между запасами продуктивной влаги почвы в слое 0—20 см и густотой растений на производственных посевах, где норма высева семян близка к оптимальной, прослеживается довольно четкая зависимость.

При увеличении запасов продуктивной влаги почвы в пахотном ее слое W_{20}^n во время сева от значений, близких к нулевым, до 55 мм, что примерно соответствует полевой влагоемкости почвы, густота озимой пшеницы Мироновская 808 возрастает от 300 до 500 раст/м². Такая густота является оптимальной, что создает предпосылки к получению высокого урожая. В связи с этим важно, чтобы все агротехнические приемы были направлены на накопление в верхних слоях почвы к моменту сева оптимального количества влаги. В засушливых условиях следует своевременно применять перед севом влагозарядковые поливы. Зависимость густоты растений перед прекращением вегетации M_0 от W_{20}^n (мм) близка к линейной:

$$M_0 = 3,33W_{20}^n + 308. \quad (8.1)$$

С количеством почвенной влаги связана и интенсивность кушения растений. При этом прослеживается зависимость количества стеблей одного растения озимой пшеницы Мироновская 808 от запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы W_{100} при севе. Эта связь оказывается нелинейной и относительно сложной. В случаях когда $W_{100} < 40$ мм, растения озимой пшеницы осенью практически не куствуют. Если при севе $W_{100} \approx 90$ мм, то имеет

Таблица 8.1

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного увлажнения почвы под озимой пшеницей Мироновская 808 относительно кустистости растений осенью перед прекращением их вегетации

Оценка увлажнения почвы	Относительная кустистость растений, % от ее значения при оптимальных запасах продуктивной влаги	Запасы продуктивной влаги (мм) в слое		
		0—50 см при севе	0—100 см при севе	0—100 см перед прекращением вегетации растений осенью
Недостаточное	<70	<32	<62	<105
Удовлетворительное	70—90	32—38	67—77	105—150
Оптимальное и субоптимальное	90—100—900	39—55—73	78—90—140	150—170—250
Повышенное	90—70	>73	141—220	250—?
Избыточное	<70	—	>220	?

место энергичное кушение и у каждого растения к осени наблюдалось в среднем около 2,5 стеблей. При дальнейшем увеличении W_{100}^n перед севом до 200 мм наблюдалось снижение кушения озимой пшеницы и в среднем у одного растения оказывалось менее двух стеблей.

В табл. 8.1 приведены интервалы оптимальности увлажнения отдельных слоев почвы по отношению к степени кушения растений Мироновская 808 в осенний период. Наиболее энергичное кушение растений озимой пшеницы наблюдается при запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы, соответствующих гармоническому оптимуму, равному 90 мм при севе семян и возрастающему к концу осени до 170 мм. Запасы продуктивной влаги являются недостаточными для обеспечения нормального кушения, если в слоях почвы 0—50 и 0—100 см при севе содержится соответственно менее 32 и 67 мм. В этом случае кустистость растений озимой пшеницы составляет менее 70 % от ее значения при оптимальном увлажнении. Аналогичное явление может наблюдаться при избыточных (> 220 мм) во время сева запасах продуктивной влаги.

Уровень увлажнения корнеобитаемого слоя почвы является инерционной характеристикой и, вполне естественно, имеет свое

определенное последствие. Так, в частности, прослеживается четкая зависимость густоты растений озимой пшеницы весной после их перезимовки от запасов продуктивной влаги почвы в слое 0—50 см W_{50}^n . Так, в зависимости от W_{50}^n на момент сева в интервале от значений, близких к нулевым, до 120 мм, густота растений на производственных посевах озимой пшеницы увеличивается от 250 до 500 раст/м². Эта зависимость близка к линейной и выражается уравнением

$$M_v = 2,1W_{50}^n + 250, \quad (8.2)$$

где M_v — густота растений озимой пшеницы весной через 10 дней после возобновления их вегетации; W_{50}^n — в миллиметрах.

Количество почвенной влаги в почве осенью оказывает существенное влияние и на сохранность стеблей озимой пшеницы в зимний период. Зависимость сохранности стеблей озимой пшеницы α (%) в зимний период от запасов влаги в метровом слое почвы перед зимовкой W_{100}^o линейная и выражается уравнением

$$\alpha = 123 - 0,125W_{100}^o \quad \text{при } W_{100}^o > 25 \text{ мм.} \quad (8.3)$$

В случаях когда к концу осени $W_{100}^o \leq 160$ мм, озимая пшеница весной чаще всего продолжает куститься и количество стеблей по сравнению с осенью возрастает, если $W_{100}^o > 160$ мм, то к весне часть осенних стеблей отмирает. В таких случаях, как показали наши исследования [138], создаются предпосылки к появлению на озимых посевах плешин с погибшими растениями. Так, в частности, возрастание осенних запасов влаги в почве от 20 до 260 мм в метровом слое почвы влечет за собой увеличение гибели растений озимой пшеницы на площади от 5 до 20 % и более площади поля.

Прослеживаются зависимости густоты продуктивных стеблей от запасов влаги в почве на посевах зерновых культур, а также количества продуктивных стеблей овса перед уборкой от запасов продуктивной влаги в верхнем 50-сантиметровом слое почвы во время сева, в фазу выметывания метелки и перед уборкой урожая.

Следует отметить, что в разные периоды вегетации растений овса кривые связи густоты продуктивных стеблей с запасами влаги в почве имеют разные формы. Наибольшее количество продуктивных стеблей овса наблюдается при гармоническом оптимуме запасов продуктивной влаги в слое почвы 0—50 см при севе, выметывании метелки и перед уборкой, соответственно равном 145, 80 и 65 мм (табл. 8.2), а в метровом слое почвы соответственно равном 190, 105 и 105 мм. Обращает на себя внимание большой интервал субоптимального (относительно густоты овса) увлажнения почвы во время сева: 84—180 мм в 50-сантиметровом и 134—282 мм в метровом слоях почвы. Это

связано с хорошей биологической приспособленностью овса к режиму увлажнения. В тех случаях, когда запасы продуктивной влаги ко времени сева овса не достигают нижней границы субоптимального увлажнения, требуются соответствующий влагозарядковый полив, а при превышении верхней границы этого интервала — дренаж. Интервалы избыточного увлажнения в 50-сантиметровом слое почвы при густоте продуктивных стеблей $<70\%$

Таблица 8.2

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного увлажнения почвы на посевах овса относительно густоты стояния стеблей перед уборкой

Оценка запасов продуктивной влаги	Относительная густота стеблей, % от ее значения при оптимальных запасах влаги	Запасы продуктивной влаги (мм) в слое				
		0—50 см			0—100 см	
		сев	выметывание	уборка	сев	выметывание и созревание
Недостаточные	<70	<50	<15	<15	<95	<45
Посредственные	70—90	50—85	15—30	15—30	95—135	45—75
Оптимальные	100	145	80	65	190	105
Повышенные	90—70	?	150—?	85—120	280—315	150—250
Избыточные	<70	?	?	>120	>315	>250

от их количества при гармоническом оптимуме влажности к моменту сева и в фазу выметывания метелки установить не удалось, поскольку такие запасы влаги в почве не позволяют производить сев и его приходится переносить на более позднее время, когда влажность почвы близка к нормальной. Однако при высоком стоянии грунтовых вод в метровом слое почвы могут создаться условия избыточного увлажнения, когда густота стеблестоя овса становится ниже 70% от ее значения при оптимуме запасов влаги в почве. В этом случае запасы продуктивной влаги ко времени сева составляют более 315 мм, а в фазы выметывания метелки и уборки урожая — более 250 мм в метровом слое почвы (см. табл. 8.2).

Режим увлажнения почвы имеет важное значение не только для формирования плотности агроценоза. Известно, что при низких запасах влаги в почве ростовые процессы замедляются. Однако связь высоты роста зерновых с запасами продуктивной влаги почвы в литературе, по существу, не освещена и возникает необходимость восполнения этого пробела. Анализ данных агрометеорологических наблюдений показал, что наибольшая высота растений овса наблюдается обычно в тех случаях, когда ко времени сева, выметывания метелки и в период созревания урожая запасы продуктивной влаги в верхнем 50-сантиметровом слое почвы составляют в среднем 155, 110 и 74 мм соответственно (табл. 8.3). Если в эти сроки запасы влаги в слое 0—50 см соответственно ниже 55, 10 и 6 мм, то высота растений ко времени уборки урожая не достигает 70% от ее значения при оптималь-

ных запасах влаги в почве. При повышенных запасах влаги на посевах овса ко времени выметывания метелки и созревания урожая (соответственно более 155 и 124 мм в 50-сантиметровом слое почвы) рост растений заметно угнетается и их высота в среднем на 10—30 % ниже, чем при гармоническом оптимуме запасов влаги.

Таблица 8.3

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного увлажнения почвы относительно высоты растений овса при уборке его урожая

Оценка увлажнения почвы	Относительная высота растений, % от ее значения при оптимальных запасах влаги	Запасы продуктивной влаги (мм) в слое 0—50 см		
		сев	выметывание метелки	созревание
Недостаточное	<70	<55	<10	<6
Посредственное	70—90	55—100	10—35	6—25
Оптимальное	100	155	110	75
Повышенное	90—70	?	155—?	125—?

Как известно, с высотой растений связаны размеры их фотосинтезирующей поверхности. Поэтому уровень влажности почвы оказывает влияние на продуктивность отдельных растений и стеблей. Зависимость продуктивности (массы зерна) колоса озимой пшеницы от запасов влаги линейная и выражается уравнениями

$$P_6 = 0,0024W_{100}^B + 0,72, \quad 40 \leq W_{100}^B \leq 280 \text{ мм}; \quad (8.4)$$

$$P_6 = 0,0048W_{50}^K + 0,95, \quad 0 \leq W_{50}^K \leq 120 \text{ мм}; \quad (8.5)$$

$$P_6 = 0,0031W_{100}^K + 0,87, \quad 5 \leq W_{100}^K \leq 250 \text{ мм}, \quad (8.6)$$

где P_6 — масса зерна одного колоса, г; W_{100}^B , W_{50}^K и W_{100}^K — запасы продуктивной влаги (мм) в 100 и 50-сантиметровом слоях почвы после возобновления вегетации растений весной и в фазу колошения, мм.

Из сравнения уравнений (8.4)—(8.6) видно, что вклад в продуктивность колоса летних (в фазу колошения) запасов влаги в почве примерно на 30 % выше вклада весенних запасов влаги. Обращает на себя внимание наличие в этих уравнениях свободных членов, что является, по-видимому, результатом влияния запасов влаги в нижележащих слоях почвы и других факторов, которые обеспечивают формирование колоса озимой пшеницы с массой зерна 0,72—0,95 г.

Для овса по сравнению с озимой пшеницей кривые связи продуктивности метелки с запасами влаги имеют более сложную

нелинейную форму (рис. 8.1). Из рисунка видно, что при изменении запасов влаги в срок сева от 40 до 165 мм в слое почвы 0—50 см и от 50 до 260 мм в метровом слое почвы масса зерна одной метелки увеличивается в среднем от 0,5 до 1,25 и от 0,5 до 1,15 г соответственно. В период созревания урожая недостаток увлажнения почвы (<20 мм в слое 0—50 см) резко снижает продуктивность метелки овса (рис. 8.1, кривая 3). Однако за счет



Рис. 8.1. Связь продуктивности метелки овса P_6 с запасами продуктивной влаги в почве W .

1 — во время сева в слое 0—50 см, 2 — то же в слое 0—100 см, 3 — в период созревания урожая в слое 0—50 см.

обильных осадков увлажнение почвы (>80 мм в том же слое) становится чрезмерным по отношению к продуктивности метелки. В таких случаях снижение массы зерна одной метелки овса, вероятно, связано с явлением «стекания» зерна в связи с влажной погодой. Анализ кривых рис. 8.1 показывает, что гармонический оптимум запасов продуктивной влаги в период сева овса составляет 260—270 мм в метровом, а в период созревания урожая — 60—70 мм в 50-сантиметровом слое почвы (табл. 8.4). Если ко времени сева овса запасы продуктивной влаги <88 мм, то продуктивность одной метелки снижается в среднем до 70 % массы зерна при оптимальных запасах влаги в почве. Аналогичное явление наблюдается и в том случае, если в период созревания зерна запасы продуктивной влаги в 50-сантиметровом слое почвы <8 или >120 мм.

Таблица 8.4

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного увлажнения почвы относительно продуктивности одной метелки овса

Оценка запасов продуктивной влаги	Относительная продуктивность метелки, % от ее значения при оптимальных запасах влаги	Запасы продуктивной влаги (мм) в слое	
		0—100 см при севе	0—50 см в период созревания
Недостаточные	<70	<88	<8
Посредственные	70—90	88—140	8—25
Оптимальные	100	265	65
Повышенные	90—70	?	100—120
Избыточные	<70	?	>120

Были рассмотрены закономерности формирования плотности агроценоза и продуктивности колоса и метелки зерновых культур в связи с количеством влаги в отдельные фазы вегетации растений.

В табл. 8.5 приведены интервалы недостаточного, оптимального и избыточного увлажнения почвы на посевах овса по отношению к его урожайности. Запасы продуктивной влаги в верхнем

Таблица 8.5

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного увлажнения почвы относительно урожайности овса

Оценка запасов продуктивной влаги	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальных запасах влаги	Запасы продуктивной влаги (мм) в слое			
		0—50 см			0—100 см при севе
		при севе	в фазу выметывания	перед уборкой	
Недостаточные	<70	<55	<15	<6	<110
Посредственные	70—90	55—70	15—30	6—25	110—125
Оптимальные	100	105	70	60	175
Повышенные	90—70	155—?	95—115	95—115	250—285
Избыточные	<70	?	>115	>115	>285

50-сантиметровом слое недостаточны, если ко времени сева, в фазу выметывания и в период созревания урожая овса они меньше 56, 15 и 6 мм соответственно. В таких случаях урожайность зерна в среднем не превышает 70 % от ее значения при оптимальном увлажнении почвы. То же самое происходит при избыточных запасах влаги, когда после фазы выметывания в 50-сантиметровом слое почвы содержится более 115 мм продуктивной влаги. Известно, что максимальная урожайность зерна возможна лишь при гармоническом оптимуме увлажнения. По имеющимся в нашем распоряжении материалам максимальная урожайность овса наблюдается в тех случаях, если ко времени сева, в фазу выметывания метелки и в период созревания урожая запасы продуктивной влаги в полуметровом слое почвы составляли в среднем 105, 70 и 60 мм соответственно.

Из данных табл. 8.2—8.5 видно, что гармонические оптимумы запасов продуктивной влаги по отношению к плотности растений в агроценозе, их высоты перед уборкой урожая, продуктивности метелки и урожайности овса значительно отличаются. Так, в частности, гармонический оптимум запасов влаги относительно высоты растений овса в среднем соответственно на 50, 40 и 14 мм больше их гармонического оптимума относительно урожайности этой культуры. Гармонический оптимум запасов продуктивной влаги в 50-сантиметровом слое относительно густоты растений соответственно на 10, 30 и 9 мм ниже этого показателя относительно высоты растений, но соответственно на 40, 10 и 5 мм выше его значений по отношению к урожайности овса.

На несовпадение оптимальных значений влажности, полученных по связям с элементами продуктивности и урожайностью зерновых культур, в свое время обратили внимание А. А. Вилькенс и В. П. Дмитренко [19]. Авторы работы [36], ссылаясь на Н. А. Максимова [68] и А. М. Алексеева [5], подчеркивают, что причиной несовпадения оптимумов является то, что интенсивность фотосинтеза при ухудшении водоснабжения растений снижается в меньшей степени, чем урожай, а продукция частных физиологических процессов расходуется на множество промежуточных реакций и неполностью поступает на формирование урожая.

Таким образом, наличие физиологического и гармонического оптимумов запасов продуктивной влаги почвы следует учитывать в практике орошения и осушения агроценоза. Гармонический оптимум запасов влаги в метровом слое почвы относительно урожайности зерна овса во время сева равен в среднем 175 мм (см. табл. 8.5). Если ко времени сева овса запасы влаги в этом слое < 110 мм, то обязательно требуется влагозарядковый полив, иначе урожайность зерна этой культуры не достигнет 70 % от ее значения при оптимальном увлажнении; аналогичное бывает, когда продуктивные запасы влаги в метровом слое почвы превышают 285 мм. Это тот самый случай, когда народная поговорка «сей овес в грязь — будешь князь» не оправдывается. При таком увлажнении почвы необходим искусственный ее дренаж или же перенос срока сева на более позднее время, если возможен естественный сброс излишков почвенной влаги.

Согласно исследованиям Н. Н. Желтой [101], максимальный урожай ярового ячменя обеспечивается в том случае, если запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной и в фазу массового колошения равны соответственно 160—180 и 110—130 мм. Если в указанные сроки запасы влаги соответственно меньше 80 и 40 мм, то условия водоснабжения растений становятся неблагоприятными и урожайность зерна этой культуры бывает низкой. Вполне естественно, что в такой ситуации до сева ячменя необходим влагозарядный полив.

Согласно исследованиям Е. С. Улановой [101, 122], для озимой пшеницы плохие условия увлажнения создаются в тех случаях, если при возобновлении вегетации растений, в период роста стебля, в фазу колошения и при наливе зерна запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы составляют соответственно меньше 100, 80, 40 и 25 мм (табл. 8.6). К оптимальным условиям увлажнения посевов озимой пшеницы, как видно из табл. 8.6, автор относит условия, при которых запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в указанные периоды равны соответственно 150—200, 140—180, 80—140 и 80—100 мм.

Согласно нашим исследованиям [143], зависимость урожайности гречихи и озимой пшеницы от запасов продуктивной влаги в разные периоды вегетации также не однозначна и описывается выпуклой кривой с максимумом при оптимальных запасах влаги, значение которых весьма различно. Так, максимальная урожай-

ность озимой пшеницы имеет место при запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы в момент прекращения вегетации растений осенью около 125 мм, при возобновлении вегетации растений весной — около 180 мм, в фазу колошения — около 105 мм и в фазу восковой спелости — около 62 мм. Максимальная урожайность гречихи наблюдалась при запасах продуктивной влаги в 50-сантиметровом слое почвы в момент сева около 100 мм,

Таблица 8.6

Показатели оценки запасов продуктивной влаги метрового слоя почвы в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы в черноземных областях. По данным [101, 122]

Оценка запасов продуктивной влаги	Запасы продуктивной влаги, мм			
	Возобновление вегетации растений	Рост стебля	Колошение	Налив зерна
Плохие	<100	<80	<40	<25
Недостаточные	100—120	80—100	40—60	30—40
Удовлетворительные	120—150	100—140	60—80	40—80
Хорошие	150—200	140—180	80—140	80—100

в начале массового цветения растений — около 65 мм и перед уборкой (хозяйственная спелость) — около 42 мм.

Таким образом, гармонический оптимум запасов продуктивной влаги для озимой пшеницы и гречихи в течение вегетации меняется, следовательно, изменяются и границы интервалов недостаточного, оптимального и избыточного увлажнения почвы. Высокие урожаи гречихи обычно получают в тех случаях, если запасы продуктивной влаги в 50-сантиметровом слое почвы ко времени сева составляют 86—112 мм, а в начале массового цветения растений и перед уборкой (хозяйственная спелость) — соответственно 45—87 и 35—60 мм (табл. 8.7). При запасах продуктивной влаги в 50-сантиметровом слое почвы в момент сева, в начале массового цветения и перед уборкой урожая гречихи соответственно меньше 76, 32 и 27 мм создаются условия недостаточного увлажнения, а при запасах продуктивной влаги в этом слое почвы соответственно больше 127, 113 и 84 мм создаются условия избыточного увлажнения в результате чего относительная урожайность не достигает 70 % от ее значения при оптимальном увлажнении.

Таким образом, если ко времени сева гречихи в 50-сантиметровом слое почвы запасы продуктивной влаги <76 мм, то перед севом крайне необходим влагозарядковый полив; в случае если запасы влаги >127 мм — то требуется искусственный дренаж почвы или перенос срока сева этой культуры на более позднее время с целью сброса излишков влаги естественным путем, либо сеять гречиху на поле, где условия увлажнения более благоприятны.

Максимальные урожан озимой пшеницы обычно получают в том случае, если запасы продуктивной влаги в метровом слое в фазу прекращения вегетации растений осенью составляли 92—165 мм, при возобновлении вегетации растений весной, в фазы колошения и восковой спелости — соответственно 155—213, 88—118 и 41—76 мм (табл. 8.8).

Таблица 8.7

Запасы продуктивной влаги почвы при разной влагообеспеченности гречихи в разные периоды вегетации

Характеристика (оценка) увлажнения	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальных условиях	Запасы продуктивной влаги почвы (мм) в слое 0—50 см		
		Сев	Начало массового цветения	Перед уборкой (хозяйственная спелость)
Недостаточное	<70	<76	<32	<27
Посредственное	70—90	76—85	32—44	27—34
Оптимальное	100	100	65	43
Обильное	70—90	113—127	88—113	61—84
Избыточное	<70	>127	>113	>84

Таблица 8.8

Запасы продуктивной влаги почвы при разной влагообеспеченности озимой пшеницы в разные периоды вегетации

Характеристика (оценка) увлажнения	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальных условиях	Запасы продуктивной влаги почвы (мм) в слое 0—100 см			
		Прекращение вегетации растений осенью	Возобновление вегетации растений весной	Колошение	Восковая спелость
Недостаточное	<70	<75	<125	<60	<20
Посредственное	70—90	75—90	125—155	60—90	20—40
Оптимальное и субоптимальное	90—100—90	90—125—165	155—180—210	90—105—120	40—60—75
Обильное	70—90	165—220	210—265	120—160	75—115
Избыточное	<70	>220	>265	>160	>115

Запасы продуктивной влаги недостаточны (урожайность озимой пшеницы <70 % от ее значения при оптимальных условиях увлажнения), если их содержание в метровом слое почвы при прекращении вегетации растений осенью, возобновлении вегетации весной, в фазу колошения и восковой спелости соответственно меньше 75, 125, 60 и 20 мм. Запасы влаги избыточны, если в указанные фазы вегетации озимой пшеницы в метровом слое почвы содержится соответственно более 220, 265, 160 и 115 мм продуктивной влаги.

Интересные результаты по динамике оптимальных запасов продуктивной влаги почвы (в слоях 0—20, 0—50 и 0—100 см) на

посевах озимой пшеницы получены В. П. Дмитренко [32]. Автор указывает, что в период сева озимой пшеницы оптимальной влажностью в пахотном слое почвы (0—20 см) является влажность на уровне $\frac{2}{3}$ полевой влагоемкости, а в слое 0—100 см — около $\frac{1}{2}$ от ее значения. В метровом слое почвы к концу осени и началу весны, согласно [18, 122 и др.], оптимум увлажнения увеличивается до 60—100 % ПВ, что вполне подтверждается результатами наших исследований.

Так, из сравнения карт средних многолетних запасов продуктивной влаги под озимыми зерновыми культурами [48] с указанными в табл. 8.8 интервалами влагообеспеченности видно, что к моменту прекращения вегетации растений недостаточное увлажнение почвы (<75 мм) имеет место в южных районах Молдавии, Украины и Ростовской области, в северной части Краснодарского края, на большей части Ставропольского края, Саратовской и Оренбургской областей. Избыточное увлажнение под озимыми осенью (>220 мм), по средним многолетним данным, в Европейской части СССР наблюдается в северных и северо-западных районах РСФСР, на большей части Прибалтики и Белоруссии. При возобновлении вегетации и в фазу колошения недостаток увлажнения на озимых посевах (соответственно менее 125 и 60 мм продуктивной влаги в метровом слое почвы) наблюдается в юго-восточных районах Европейской части СССР (Ростовская, Волгоградская, Саратовская, Куйбышевская, Оренбургская области). Избыточное увлажнение в фазу колошения на озимых посевах (>160 мм) продуктивной влаги имеет место только в северо-западных районах Европейской части СССР; весной такое явление в этих районах наблюдается только в отдельные годы.

Согласно [48], к дате наступления восковой спелости озимых зерновых культур средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на большей территории Европейской части СССР составляют >115 мм, т. е. созревание озимой пшеницы (и, естественно, ее уборка) проходит при избыточном увлажнении. Вполне понятно, что эти негативные явления требуют вмешательства мелиораторов.

8.2. Влияние осадков на формирование урожая зерновых культур

Известно, что количество осадков как характеристика климата и условий погоды широко используется при агроклиматическом районировании, в описании почвенного покрова, в различных схемах агрометеорологических прогнозов, оценок и расчетов, при программировании урожаев и моделировании продуктивности агроэкосистем системы почва — растение — атмосфера [1—3, 9, 18, 26, 70, 90, 112, 122, 145, 146 и др.].

Прямого физиологического воздействия на растения осадки оказывают мало. Их влияние на продукционный процесс проявляется в основном через влажность почвы и воздуха. Часть осад-

ков задерживается на растениях при смачивании отдельных органов растений и затем испаряется и в транспирации не участвует. Часть осадков, особенно ливневых, теряется в виде поверхностного и внутрипочвенного стока и просачивания в грунтовые воды и также не участвует в продукционном процессе агроценоза. Таким образом, только некоторая часть выпадающих осадков используется растениями. При этом чем меньше запасы продуктивной

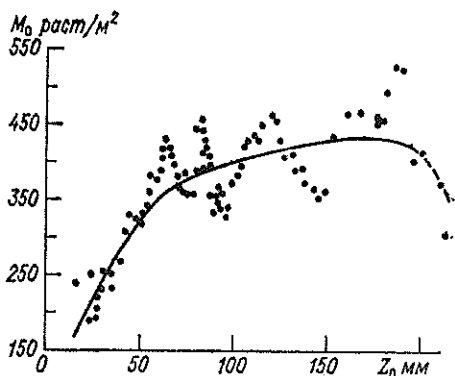


Рис. 8.2. Связь густоты растений озимой пшеницы Мироновская 808 перед уходом в зиму M_0 с количеством осадков, выпавших за период сев—прекращение вегетации растений осенью Z_0 .

влаги в корнеобитаемом слое почвы, тем в большей мере возрастает роль осадков в формировании урожая. Ко времени сева количество влаги в почве зачастую существенно ниже гармонического оптимума. В этой связи густота всходов зерновых культур во многом определяется количеством осадков в послепосевной период (рис. 8.2). Из рисунка следует, что с увеличением количества осадков Z_0 в период сев — прекращение вегетации озимой пшеницы осенью от 20 до 60—70 мм густота растений возрастает от 200 до 350—360 раст/м². При дальнейшем увеличении Z_0 рост густоты всходов замедляется, а разброс точек на рисунке увеличивается, что связано с различным увлажнением почвы отдельных производственных полей. При $Z_0 > 190$ мм проявляется тенденция к снижению густоты растений и формированию изреженных посевов. При большом количестве осадков их отрицательное действие двояко: во-первых, из-за чрезмерного уплотнения почвы, затрудняется появление всходов, во-вторых, создается переувлажнение почвы и из-за вымокания гибнет значительная часть уже взошедших растений.

С количеством осадков связаны также темпы кущения и роста, а следовательно, формирование фотосинтетического потенциала агроценоза, что в свою очередь отражается на характеристиках элементов продуктивности, структуре урожая и его величине.

На рис. 8.3 а представлена зависимость количества зерен в метелке овса от суммы выпавших осадков в вегетативный (до выметывания метелки) и репродуктивный (после выметывания

метелки) периоды. Оптимум количества осадков (относительно числа зерен в метелке) в вегетативный период почти в два раза больше его значения в репродуктивный период (соответственно 135 и 72 мм) (табл. 8.9). При недостаточном количестве осадков в вегетативный период (< 60 мм) закладывается малое количество колосков в метелке и в них цветков, а в репродуктивный период

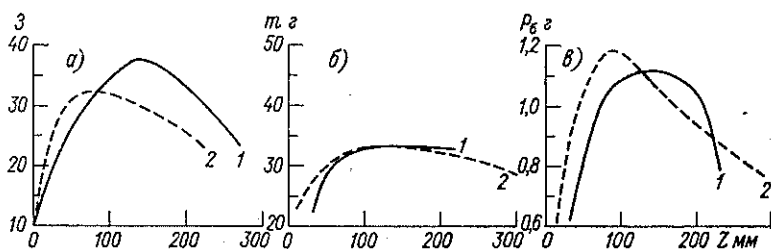


Рис. 8.3. Зависимость количества зерен в метелке овса Z (а), массы 1000 шт. зерен m (б) и продуктивности одной метелки P_6 (в) от количества осадков Z , выпавших за периоды сев—выметывание (1) и выметывание—уборка урожая (2).

(менее 15 мм) — из-за появления стерильности пыльцы наблюдается череззерница. При избыточном количестве осадков в вегетативный период (более 250 мм) создаются условия для диспропорции образования вегетативной и генеративной частей растений и ростовые процессы подавляют (ограничивают) закладку цветков в колосках метелки. В репродуктивный период при избытке осадков создаются условия, которые не обеспечивают нормального оплодотворения семян, и поэтому также наблюдается явление череззерницы в метелках овса.

Осадки оказывают заметное влияние и на массу 1000 зерен овса (рис. 8.3 б). Из рисунка видно, что в вегетационный период (до выметывания) увеличение количества осадков от 35 до 80 мм обеспечивает возрастание массы 1000 зерен (во время уборки урожая) от 22 до 32 г. При дальнейшем увеличении количества осадков в этот период рост массы зерна овса замедляется, а затем кривая выходит на плато.

С увеличением количества осадков в репродуктивный период (от 10 до 110 мм) создаются благоприятные условия для налива зерна и масса 1000 зерен возрастает в среднем на 10 г. При дальнейшем увеличении осадков за этот период от 110 до 300 мм заметно (в среднем на 10—15 %) снижается масса 1000 зерен. В последнем случае начинает проявляться явление «стекания зерна» в условиях повышенного увлажнения. Анализ данных показывает, что мелкозерность овса, когда масса 1000 зерен составляет менее 70 % от ее значения при оптимальных условиях, наблюдается обычно в тех случаях, когда в периоды сев — выметывание метелки и выметывание метелки — уборка осадков выпадает в среднем менее 45—35 мм соответственно.

Продуктивность метелки овса непосредственно связана с числом в ней зерен и их абсолютной массой. Поэтому кривая связи продуктивности метелки с количеством осадков является результирующей их влияния на упомянутые элементы урожая (рис. 8.3 в). Видно, что оптимум осадков за период сев — выметывание метелки в 1,5 раза больше этого показателя за репро-

Таблица 8.9

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного количества осадков относительно элементов структуры урожая овса

Оценка количества осадков	Относительное количество элементов структуры урожая, % от их значения при оптимальном количестве осадков	Количество осадков (мм) за период сев — выметывание относительно		
		количества зерен в метелке	массы 1000 зерен	продуктивности метелки
Недостаточное	<70	<60	<45	<50
Посредственное	70—90	60—100	45—60	50—75
Оптимальное	100	135	145	140
Повышенное	90—70	195—250	?	200—230
Избыточное	<70	>250	?	>230

Оценка количества осадков	Относительное количество элементов структуры урожая, % от их значения при оптимальном количестве осадков	Количество осадков (мм) за период выметывание — уборка относительно		
		количества зерен в метелке	массы 1000 зерен	продуктивности метелки
Недостаточное	<70	<15	<35	<25
Посредственное	70—90	15—40	35—50	25—45
Оптимальное	100	72	110	93
Повышенное	90—70	150—240	270—?	150—260
Избыточное	<70	>240	?	>260

дуктивный период (соответственно 140 и 93 мм) (см. табл. 8.8). При увеличении осадков за эти периоды или при выпадении малого (по сравнению с оптимумом) количества осадков наблюдалось снижение массы зерна одной метелки в 1,5—2 раза. При выпадении осадков за вегетативный и репродуктивный периоды соответственно менее 50 и 25 мм масса зерна одной метелки обычно не превышала 70 % от ее значения при оптимальном количестве осадков.

Влияние количества выпадающих осадков на урожайность зерна можно оценить по рис. 8.4. Каждая из представленных на рисунке кривых имеет специфическую выпуклую форму и их вершины, соответствующие гармоническому оптимуму осадков, естественно, не совпадают.

Максимум урожайности зерна озимой пшеницы наблюдается при количестве осадков, выпавших за периоды сев — прекращение вегетации растений осенью и возобновление вегетации растений — колошение, равном 135 и 125 мм соответственно (табл. 8.10). Наи-

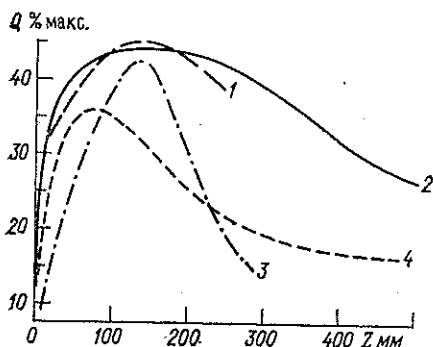


Рис. 8.4. Зависимость урожайности зерна Q (% сортового максимума) озимой пшеницы (1, 2) и овса (3, 4) от количества осадков Z , выпавших в разные периоды развития.

1 — сев—прекращение вегетации растений осенью, 2 — возобновление вегетации растений весной—колошение, 3 — сев—выметывание метелки, 4 — выметывание метелки—уборка урожая.

Таблица 8.10

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного количества осадков относительно урожайности озимой пшеницы, овса, проса и ячменя

Оценка количества осадков	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальном количестве осадков	Количество осадков (мм) в разные периоды вегетации			
		Озимая пшеница			
		сев — прекращение вегетации растений осенью		возобновление вегетации растений весной — колошение	
Недостаточное	<70	<15		<10	
Посредственное	70—90	15—65		10—45	
Оптимальное	100	135		125	
Повышенное	90—70	230—?		285—415	
Избыточное	<70	?		>415	

Оценка количества осадков	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальном количестве осадков	Количество осадков (мм) в разные периоды вегетации				
		Овес		Просо	Ячмень [101]	
		сев — выметывание метелки	выметывание метелки — уборка	сев — уборка	предвегетационный период	сев — колошение
Недостаточное	<70	<60	<20	<105	<70*	<30*
Посредственное	70—90	60—100	20—40	105—235	—	—
Оптимальное	100	140	75	420	150—175	120—150
Повышенное	90—70	170—205	130—205	?	—	—
Избыточное	<70	>205	>205	?	—	—

Примечание. Звездочкой (*) выделены наиболее неблагоприятные условия [101].

большая урожайность овса наблюдается при выпадении за периоды сев — выметывание метелки и выметывание метелки — уборка 140 и 75 мм осадков соответственно. Сравнивая данные табл. 8.9 и 8.10, видно, что оптимальные значения количества осадков относительно урожая овса и отдельных элементов его структуры, выпадающих за период сев — выметывание метелки, практически совпадают (140 ± 5 мм). В период выметывание метелки — уборка овса значения оптимума осадков относительно

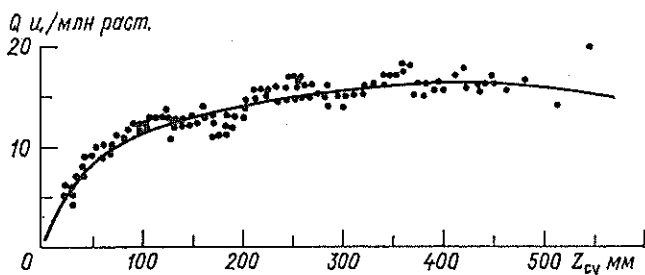


Рис. 8.5. Зависимость урожайности зерна 1 млн растений проса Багряное Q от количества осадков Z_{cy} за период сев — уборка урожая.

рассматриваемых показателей различаются в большей степени (до 40 мм). Совпадают границы и интервалы избыточного количества осадков и в вегетативный и в репродуктивный периоды вегетации овса.

По данным Н. Н. Желтой [101], большое влияние оказывают осадки на формирование урожая ярового ячменя в районах Северного Казахстана, Поволжья и южных областей Украины. Если за осенне-зимне-весенний период (от декады перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C осенью предшествующего года до массового сева ярового ячменя весной следующего года) и в период сев — колошение выпадает менее 70 и 30 мм, то создаются очень неблагоприятные условия для формирования урожая ярового ячменя. Максимальные урожаи этой культуры получаются при условии выпадения в указанные периоды 150—175 и 120—150 мм осадков соответственно.

Значительное влияние оказывают осадки на формирование урожая проса (рис. 8.5). В связи с тем что просо в производстве возделывается по разным схемам сева (рядовые, широкорядные, двух-, трехстрочные) с разной нормой высева семян, урожайность семян была нормирована по густоте растений и на рис. 8.5 в качестве предиктанта использованы данные об урожайности 1 млн. растений проса.

Известно, что просо — засухоустойчивая культура. Однако, как видно из рис. 8.5, урожайность проса очень сильно зависит от осадков. Так, при увеличении количества осадков за вегетацион-

ный период от 25 до 250 мм и более урожайность каждого миллиона растений проса увеличивается от 5 до 15 ц зерна и более на 1 млн. растений. Если осадков в течение вегетационного периода выпадает менее 105 мм, то урожайность зерна проса обычно не достигает 70 % от ее значения при оптимальном увлажнении (см. табл. 8.10).

Как было показано, урожайность отдельных культур в очень сильной степени зависит от количества осадков, что говорит о несовершенстве технологии их возделывания. Используемая в настоящее время агротехника, в большинстве случаев не обеспечивает накопления в почве необходимого количества влаги. Таким образом, во многих случаях агротехнические мероприятия при возделывании зерновых культур должны быть направлены на сбережение и накопление почвенной влаги. Радикальное решение этой задачи возможно только путем искусственного орошения посевов.

8.3. О возможности использования гидротермического коэффициента при количественной оценке состояния посевов

В качестве показателя климатических ресурсов, учитывающего соотношение тепла и влаги, используются различные гидротермические коэффициенты [9, 47, 106, 146 и др.], называемые часто показателями увлажнения. Для количественной оценки состояния посева, на наш взгляд, лучше использовать *гидротермический коэффициент* (ГТК) Селянинова, который позволяет производить оценку гидротермических ресурсов не только в годовом масштабе, но и в масштабе отдельных достаточно длинных по времени межфазных периодов. ГТК Селянинова равен отношению суммы осадков за межфазный период к сумме активных температур за этот период, уменьшенной в 10 раз. Однако из-за того, что значения ГТК при таком расчете получаются слишком мелкими (дробными) и пользоваться ими не вполне удобно, поэтому в настоящей работе ГТК увеличен в 10 раз и рассчитывался по формуле

$$\text{ГТК} = \frac{\sum Z_i \cdot 100}{\sum T_i}, \quad (8.7)$$

где ГТК — гидротермический коэффициент за i -й период вегетации, мм/100 °С; $\sum Z_i$ — сумма осадков за i -й период вегетации, мм; $\sum T_i$ — сумма активных температур накопившаяся за i -й период, °С.

Связь урожая и его элементов с ГТК для яровых культур (овса, проса, гречихи и др.) более тесная, чем для озимых. Это объясняется тем, что озимые культуры по сравнению с яровыми в большей степени используют зимние осадки и меньше зависят от летних. На рис. 8.6 а показана связь количества колосков в метелке овса со значением ГТК в период сев — выметывание ме-

телки. Максимум кривой соответствует $ГТК = 14 \text{ мм/100 } ^\circ\text{С}$. С ростом $ГТК$ в этот период от 2,0 до $14,0 \text{ мм/100 } ^\circ\text{С}$ количество колосков в метелке овса увеличивается более чем в 3 раза (с 7 до 24). При дальнейшем повышении $ГТК$ от 14 до $26 \text{ мм/100 } ^\circ\text{С}$ количество колосков уменьшается с 24 до 17. При $ГТК \leq 4,5 \text{ мм/100 } ^\circ\text{С}$ в рассматриваемый период количество колосков

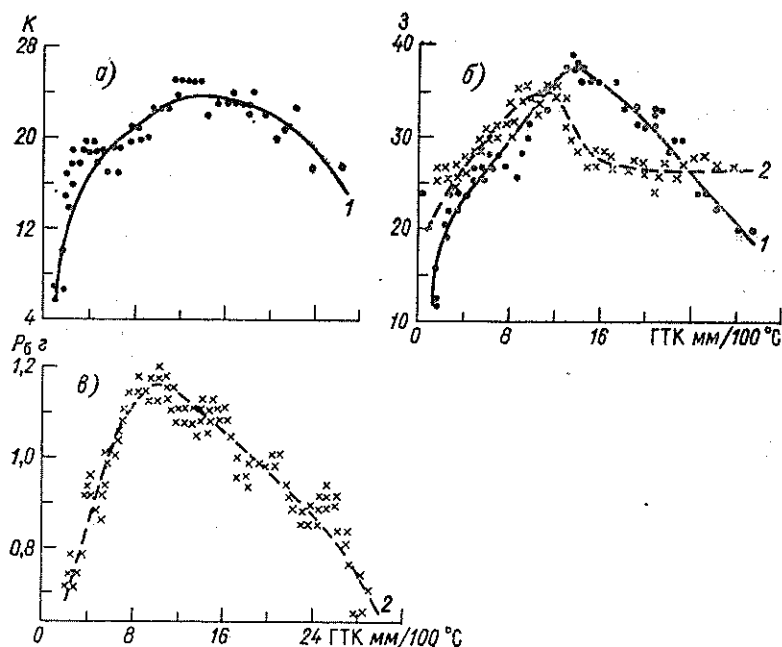


Рис. 8.6. Связь количества колосков K в метелке овса при выметывании (а), количества зерен в метелке $З$ (б) и ее продуктивности P_b с гидротермическим коэффициентом ($ГТК$) в разные периоды вегетации. 1 — сев—выметывание метелки, 2 — выметывание метелки—уборка урожая.

в метелке уменьшается до 70 % от их количества при оптимальном значении $ГТК$ (табл. 8.11). Аналогичное явление отмечается при $ГТК > 26,5 \text{ мм/100 } ^\circ\text{С}$.

Количество зерен в метелке овса также связано с величиной $ГТК$ за период сев — выметывание метелки и за последующий (до созревания урожая) период (рис. 8.6 б). Это обусловлено тем, что в первый период происходит закладка цветков, а во второй — их оплодотворение, и соотношение влаги и тепла в оба периода играют определенную роль.

Из сравнения кривых 1 рис. 8.6 а и б видно, что оптимум $ГТК$ в период до выметывания метелки овса относительно количества колосков в метелке (см. табл. 8.11) и оптимум $ГТК$ за этот период относительно количества зерен совпадают и оказываются равными

14 мм/100°С. Соотношение влаги и тепла относительно количества зерен в метелке овса оказывается недостаточным, если от сева до выметывания и от выметывания до созревания ГТК < 5,5 и < 3,0 мм/100°С соответственно и избыточным, если до выметывания ГТК > 25,5 мм/100°С. В таких случаях количество зерен в метелке овса не превышает 70 % от их количества при оптимальном значении ГТК.

Таблица 8.11

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного (относительно элементов структуры урожая овса) гидротермического коэффициента (мм/100°С) в разные периоды вегетации

Оценка гидротермического коэффициента	Относительная величина элементов структуры урожая, % от ее значения при оптимуме ГТК	Гидротермический коэффициент за период			
		сев — выметывание относительно		выметывание — созревание относительно	
		количества колосков в метелке при выметывании	количества зерен в метелке	количества зерен в метелке	продуктивности одной метелки
Недостаточный	<70	<4,5	<5,5	<3,0	<3,5
Посредственный	70—90	4,5—9,0	5,5—10,5	3,0—7,0	3,5—6,0
Оптимальный	100	14,0	14,0	11,0	10,0
Повышенный	90—70	22,2—26,5	19,0—25,5	15,0—30,0	19,0—26,0
Избыточный	<70	>26,5	>25,5	?	>26,0

Масса зерна в метелке овса в период после выметывания (рис. 8.6 б) с изменением ГТК от 2 до 10 мм/100°С возрастает в среднем от 0,70 до 1,16 г. При дальнейшем увеличении ГТК до 29 мм/100°С продуктивность метелки снижается (в среднем до 0,66 г).

На рис. 8.7 и 8.8 представлены зависимости урожайности овса Победа (% сортового максимума) и озимой пшеницы (ц/га) от ГТК в период до выметывания метелки (колошения). Из сравнения этих рисунков видно, что оптимальные значения ГТК для обеих культур составляют 14—16 мм/100°С. При уменьшении и увеличении ГТК урожайность заметно снижается. Причем при переувлажнении урожайности проса и озимой пшеницы снижается меньше, чем урожайность овса.

В табл. 8.12 приведены критерии оптимальности ГТК (для разных периодов вегетации) относительно урожайности зерна отдельных сельскохозяйственных культур, полученные по результатам анализа графиков связи. Из данных табл. 8.12 видно, что для озимой пшеницы значение ГТК < 3,5 мм/100°С в период от возобновления вегетации растений весной до фазы колошения является недостаточным и урожайность зерна этой культуры снижается более чем на 30 %. Такой же недобор урожая овса

обычно наблюдается при $ГТК < 7,8 \text{ мм/100}^\circ\text{С}$ в период от сева до выметывания метелки. Урожайность зерна гречихи снижается до 30 % в том случае, если в период от сева до цветения осадков практически не выпадает ($ГТК < 0,5 \text{ мм/100}^\circ\text{С}$). Аналогичное

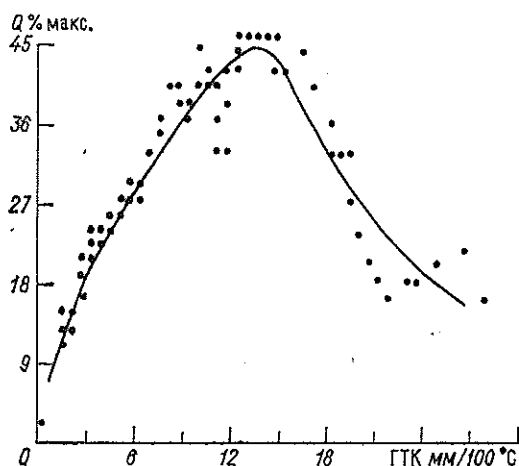


Рис. 8.7. Связь урожайности овса Q (% сортового максимума) с гидротермическим коэффициентом за период сев—выметывание метелки.

снижение урожайности зерна озимой пшеницы, овса, проса и гречихи отмечается в случае если $ГТК$ за указанные периоды составляет соответственно более 56,5; 19,2; 65,0 и 28,6 мм/100°C.

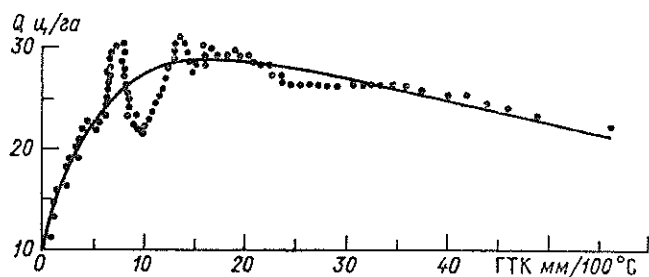


Рис. 8.8. Связь урожайности зерна озимой пшеницы Q с гидротермическим коэффициентом за период возобновление вегетации растений весной—колошение.

Таким образом, полученные закономерности формирования продуктивности посевов в зависимости от $ГТК$ дают основание для применения этого показателя при количественной оценке состояния агроценоза в качестве определенной характеристики состояния среды обитания растений. Этот показатель был успешно использован нами в работе [140] для оценки состояния посевов гречихи.

Таблица 8.12

Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного (относительно урожайности) гидротермического коэффициента (мм/100 °С) в разные периоды вегетации

Оценка гидротермического коэффициента	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальном ГТК	Гидротермический коэффициент				
		Озимая пшеница	Овес	Просо		Гречиха
		возобновление вегетации весной — колошение	сев — выметывание метелки	сев — выметывание метелки	выметывание метелки — уборка	сев — начало цветения
Недостаточный	<70	<3,5	<7,8	<4,0	<4,0	<0,5
Посредственный	70—90	3,5—9,0	7,8—10,8	4,0—9,9	4,0—15,0	0,5—4,4
Оптимальный	100	15,0	13,8	16,0	31,0	16,2
Повышенный	90—70	32,5—56,5	16,2—19,2	34,9—65,0	>55,0	23,1—28,5
Избыточный	<70	>56,5	>19,2	>65,0	—	>28,5

В заключение следует подчеркнуть, что выделенные критерии оптимальности запасов продуктивной влаги почвы, количества осадков и ГТК относительно степени развития растений и высоты роста, густоты растений и сохранности, а также элементов структуры урожая и его уровня вполне могут служить объективными показателями среды обитания растений при количественной оценке состояния агроценоза.

Глава 9

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОСНОВНОГО (ДОПОСЕВНОГО)

УДОБРЕНИЯ

9.1. Некоторые особенности питания растений зерновых культур

В результате ежегодной изменчивости погоды прибавки урожая от применения удобрений колеблются в широких пределах во всех почвенно-климатических зонах. В одни годы эффективность удобрений высокая, в другие — очень низкая [59]. При изменении метеорологических условий и в результате антропогенных воздействий на агроценоз и среду обитания растений изменяются темпы жизнедеятельности растений, интенсивность фотосинтеза и дыхания, активность биохимических процессов обмена веществ, степень развития корневой системы, скорость развития растений и т. д., что, в свою очередь, оказывает огромное влияние на потребность и потребление растением питательных веществ [76, 129].

Питание растений, как и всего живого, является основой жизни. Доказано, что поглощение питательных веществ из почвы растениями происходит путем адсорбционно-обменных процессов, причем строго избирательно; внутренние процессы обмена веществ в растениях тесно взаимосвязаны с внешними условиями питания [83 и др.].

В режиме питания растений сельскохозяйственных культур отмечается несколько периодов с различной потребностью в элементах и с разным отношением растений к их концентрации [95, 76 и др.].

И В. Мосолов [76] весь жизненный цикл растений по направленности физиологических процессов и специфике потребления питательных веществ условно делит на три периода:

- 1) от прорастания семян до появления ассимиляционной поверхности, когда закладывается первичная корневая система;
- 2) от появления ассимиляционной поверхности и развития корневой системы до начала цветения, когда интенсивно образуется вегетативная масса растений;
- 3) от начала цветения до полного созревания растений.

В. Д. Панников, В. Г. Минеев [83] указывают на наличие у зерновых культур двух периодов питания: первый, так называемый критический, и второй — период максимального потребления питательных веществ.

В критический период растения проявляют повышенную чувствительность к концентрации почвенного раствора и его кислот-

ности, к наличию в почве подвижных форм алюминия и т. д. На растения отрицательно действует как недостаток, так и избыток питательных веществ, находящихся в этот период в почве. Для яровых колосовых культур критический период питания — это период от появления всходов до выхода в трубку растений.

Критический период питания озимых зерновых культур совпадает с периодом осенней и начальным периодом весенней вегетации. Осенью у растений озимой пшеницы и ржи обычно формируется первичная и придаточная корневые системы, дифференцируется конус нарастания и закладываются боковые побеги. Н. М. Майсурян, В. Н. Степанов с сотрудниками [67], подчеркивая важность этого периода, пишут: «...уже в ранний период определяется будущий габитус растений, число узлов и междоузлий стебля, характер и степень его ветвления». Поэтому недостаток элементов питания в начальный период жизни растений, как и их избыток, неблагоприятно отражается на всем дальнейшем их развитии.

Н. А. Сапожников и М. Ф. Корнилов [108], ссылаясь на ряд исследователей, указывают, что критическим периодом для растений по отношению к фосфору являются первые 10—15, а по отношению к азоту — первые 15 дней после появления всходов. В ранний период особенно важно соотношение элементов питания. Режим питания должен обеспечить нормальное развитие растений и способствовать выработке их устойчивости к неблагоприятным агрометеорологическим явлениям.

Период максимального потребления питательных веществ у зерновых культур примерно совпадает с периодом формирования элементов продуктивности и интенсивного образования вегетативной массы растений: от выхода в трубку до полного выколашивания — начала цветения. К концу этого периода поступление питательных веществ в растения в основном заканчивается [83]. По сообщению Н. А. Сапожникова и М. Ф. Корнилова [108], максимум среднесуточного потребления фосфора и калия у озимой ржи происходит в период выход в трубку—колошение, а максимум потребления азота несколько сдвинут на более поздние сроки.

Период максимального потребления питательных веществ растениями зерновых культур охватывает световую стадию развития, а также спорогаметную (половую), которая, как указывается в [67], характеризуется повышенными требованиями растений ко всем факторам жизни, включая и условия минерального питания, тепло и влагу, и является, по П. И. Броуну [15], «критическим периодом» по отношению растений к влаге.

Таким образом, в питании растений зерновых культур имеется определенная периодичность, а в связи с годовым ходом биологических процессов в почве питательные вещества находятся в динамическом равновесии и их доступность для растений меняется во времени. С учетом периодичности в питании растений в настоящее время сложилась система применения удобрений, которая

предусматривает их основное внесение (до сева), припосевное (во время сева — в рядки) и подкормку (осенью, весной или летом).

Следует отметить, что основное удобрение вносится с различной заделываемостью до сева и на разную глубину (под вспашку или культивацию) и его действие происходит при различном почвенном увлажнении, что необходимо учитывать при оценке состояния агроценоза.

К настоящему времени накоплен достаточно обширный экспериментальный материал по изучению влияния удобрений на формирование урожая [7, 28, 38, 55, 58, 83, 95, 108, 126, 130 и др.]. Одновременно с этим приходится констатировать большую разрозненность данных в методическом плане, локальность и недоучет сопутствующих условий, что затрудняет их применение и снижает ценность. Поэтому проблема эффективности применения удобрений требует дальнейшего изучения. В этой связи делается попытка рассмотреть действие разных доз основного (внесенного до сева) удобрения на формирование плотности агроценоза и его продуктивность. При этом в качестве характеристики антропогенного вмешательства взята суммарная доза азотно-фосфорно-калийных удобрений (в кг д. в. на 1 га), полученная по данным многолетних сопряженных агрометеорологических наблюдений за посевами сельскохозяйственных культур.

9.2. Влияние удобрений на рост и густоту растений и их сохранность

В условиях интенсивного применения минеральных удобрений в значительной мере уменьшается зависимость сельскохозяйственного производства от экологических условий, в частности, от типа и вида почвы, предшественника, ограниченных удобрений и др. [16]. Однако при этом все больше возрастает необходимость учета основных законов почвоведения и земледелия, особенно закона минимума, оптимума и максимума [83] и др. При малых дозах удобрений их эффект обусловлен, как правило, недостатком одного или нескольких основных элементов питания. При больших дозах их действие проявляется в угнетении растений вследствие высокой концентрации почвенного раствора (особенно при недостатке влаги), а также из-за возможного дефицита микроэлементов (магния, меди, цинка, бора, молибдена и др.), их выщелачивания или превращения в недоступную форму.

На плотность посева, а также на рост и развитие растений оказывают влияние удобрения. Так, в частности, прослеживается относительно четкая зависимость густоты растений озимой пшеницы в осенний и ранневесенний период от дозы основного азотно-фосфорно-калийного удобрения (рис. 9.1).

Вполне понятно, что рост плотности посева является результатом не только прямого воздействия разных доз удобрений на энергию прорастания семян и повышение жизнеспособности взшедших растений. Здесь проявляется также культура производ-

ства. В тех хозяйствах, где вносят мало удобрений, часто оказывается низкой и технология возделывания сельскохозяйственных культур. В них по сравнению с хозяйствами, в которых применяются высокие дозы удобрений, обычно хуже качество посевного материала, обработки почвы, имеют место нарушения сроков сева и др. При избыточной дозе удобрений (более 350 кг д. в/га) наб-

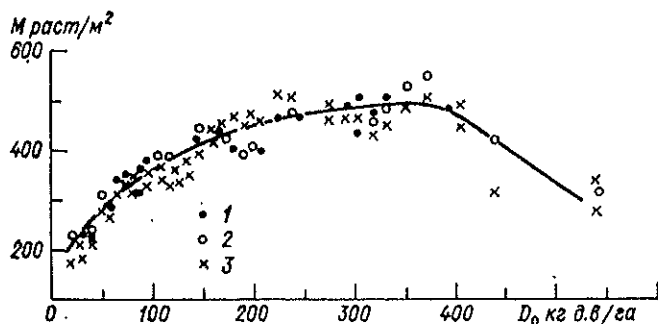


Рис. 9.1. Зависимость густоты растений M озимой пшеницы Мироновская 808 от дозы основного удобрения D_0 .

1 — фаза 3-й лист, 2 — осеннее обследование посевов, 3 — весеннее обследование посевов.

людается определенная тенденция к существенному снижению густоты растений озимой пшеницы (см. рис. 9.1). Влияние дозы основного удобрения на рост и развитие растений проявляется с самого раннего их возраста. У озимых, например, это заметно к концу осени.

Безусловно, что на рост и развитие растений в осенний период (как и в другие) влияют не только удобрения, но и множество других факторов [74, 101, 120, 130, 133 и др.], в частности, температура, увлажнение почвы и др. Удобрения, наряду с другими факторами, в определенной степени влияют на сохранность зерновых посевов в течение вегетационного периода. Как показали отечественные [58, 83, 130, 131 и др.] и зарубежные [154 и др.] исследования, исход перезимовки зависит от вида и дозы внесенных удобрений.

Осенний период является важным периодом в жизни озимых растений. В их питании этот период является критическим. Как было показано, с дозой удобрений связаны рост и развитие растений осенью. Удобрения играют определенную роль в жизнедеятельности растений, в их подготовке к перезимовке. Следовательно, без учета влияния удобрений оценка зимостойкости озимых культур будет неполной.

На рис. 9.2 показана зависимость площади поля S_y (%) с погибшими в зимний период растениями и доли их гибели γ_m (%) в период от прекращения (осенью) и до возобновления (весной)

вегетации растений озимой пшеницы сорта Мироновская 808 от дозы NPK. Коэффициент корреляции между фактическими и рассчитанными по кривым рис. 9.2 значениями γ_m превышает 0,6.

Как видно из рис. 9.2, зимняя изреженность посевов $S_v \leq 10\%$ наблюдалась при дозах основного удобрения $D_0 \leq 330$ кг д. в/га,

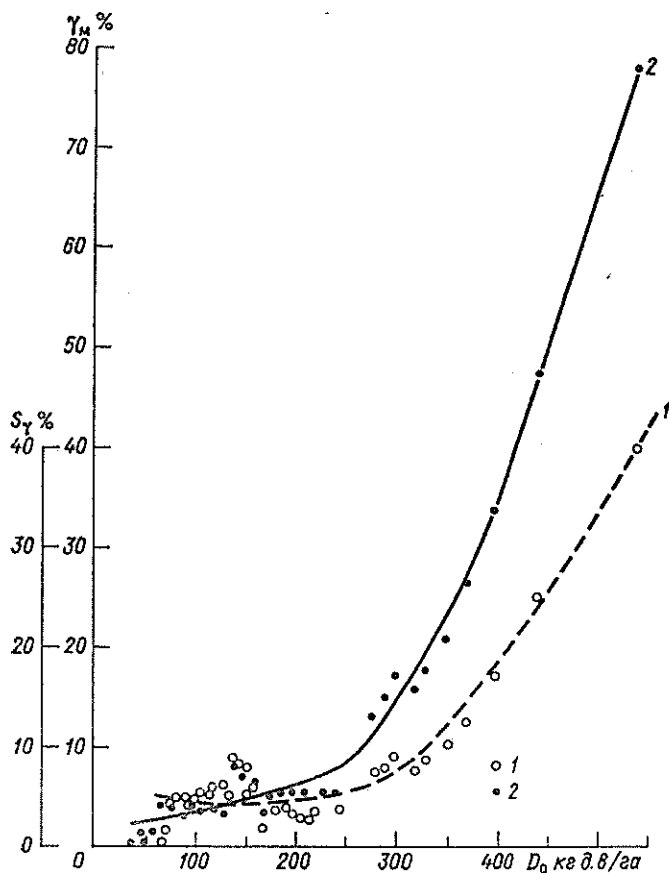


Рис. 9.2. Зависимость площади поля S_v с погибшими зимой растениями озимой пшеницы (1) и доли их гибели γ_m (2) от дозы основного удобрения D_0 .

при больших дозах основного удобрения (около 540 кг д. в/га) изреженность посевов $S_v \approx 40\%$. В последнем случае гибель растений за зиму достигала 80%. Кривые зависимости S_v и γ_m от дозы основного удобрения озимой пшеницы, представленные на рис. 9.2, имеют аналогичную форму, так как между предиктантами существует относительно тесная связь (коэффициент корреляции около 0,8). Эта связь выражается уравнениями

$$S_y = \begin{cases} 7,5\gamma_m & \text{при } 0 \leq \gamma_m \leq 1, \\ 0,57\gamma_m + 7 & \text{при } 1 \leq \gamma_m \leq 80. \end{cases} \quad (9.1)$$

Здесь S_y — площадь поля весной с погибшими растениями, %; γ_m — количество погибших растений за период прекращения вегетации растений осенью до ее возобновления весной, %. Формулу (9.1) можно использовать при интерпретации данных агрометеорологических наблюдений за густотой растений озимой пшеницы.

С дозой основного удобрения, естественно, связана и сохранность стеблей. В весенне-летний период в злаковом ценозе происходит стеблеотбор и формирование продуктивного стеблестоя [21, 78 и др.]. Если посевы не удобрялись, то ко времени уборки урожая озимой пшеницы становятся продуктивными в среднем не более 65—70 % осеннего количества стеблей. При увеличении дозы вносимых удобрений от 70 до 250 кг д. в/га наблюдается постепенное увеличение сохранности стеблей озимой пшеницы. При внесении больших доз основного удобрения (более 250—270 кг д. в/га) сохранность стеблей в течение зимнего и весенне-летнего периодов снижается и при дозе 500 кг д. в/га и более ко времени уборки сохраняется < 50 % от количества стеблей осенью.

9.3. Зависимость продуктивности посевов от дозы основного удобрения

Известно, что удобрения оказывают влияние как на продуктивность отдельных растений, так и на продуктивность агроценоза как их совокупности. При этом удобрения (в зависимости от дозы и других условий) действуют на урожай различных культур не одинаково.

На рис. 9.3 представлена зависимость урожайности двух относительно контрастных культур (овса и озимой пшеницы) от дозы основного удобрения. Овес по сравнению с озимой пшеницей более отзывчив на малые дозы удобрения (до 60—70 кг д. в/га). При больших дозах удобрения (более 200 кг д. в/га) урожайность овса заметно снижается. Здесь сказывается отсутствие в производстве интенсивных сортов этой культуры. Наибольшая урожайность озимой пшеницы наблюдается при дозе основного удобрения около 200 кг д. в/га. Следует отметить, что относительно высокая урожайность озимой пшеницы, овса (и других культур) наблюдается в широком диапазоне доз основного удобрения, что связано главным образом с различиями почвенного плодородия.

Анализ кривых связи урожайности озимой пшеницы и овса с дозами основного удобрения, приведенных на рис. 9.3, и аналогичных графиков для других культур позволяет наметить (в первом приближении) границы интервалов доз основного удобрения разной степени их оптимальности относительно урожайности зерна (табл. 9.1). Из всех представленных культур, как следует из данных табл. 9.1, наиболее высокий гармонический оптимум дозы основного удобрения оказался у озимой пшеницы и

проса (200 и 250 кг д. в/га соответственно). Максимальная урожайность яровых колосовых культур (овса, яровой пшеницы и ячменя) получается при меньших (на 30—40 %) и относительно близких между собой дозах основного удобрения (140, 150 и 155 кг д. в/га соответственно).

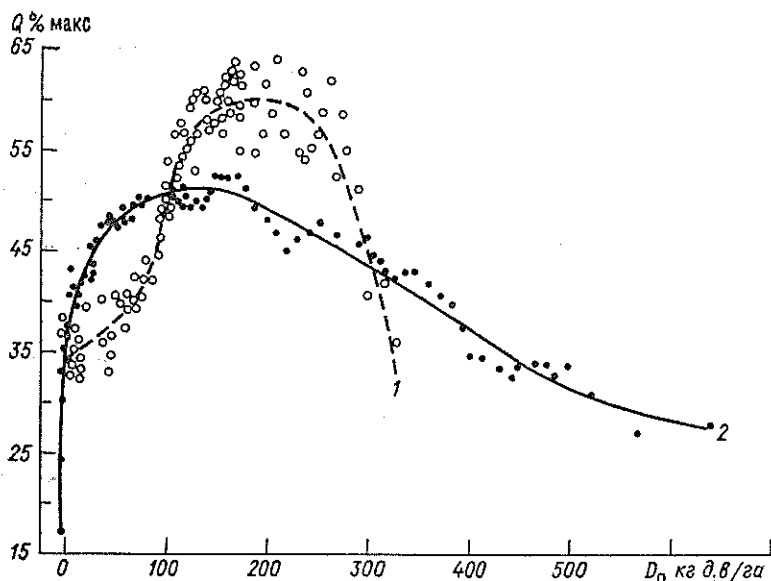


Рис. 9.3. Зависимость урожайности Q (% сортового максимума) озимой пшеницы (1) и овса (2) от дозы основного удобрения D_0 .

Таблица 9.1

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной дозы основного азотно-фосфорно-калийного удобрения относительно урожайности зерновых культур

Оценка дозы удобрений	Относительная урожайность, % от ее значения при оптимальной дозе удобрений	Доза основного удобрения, кг д. в/га					
		Озимая пшеница	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Овес	Просо	Гречиха ¹
Недостаточная	<70	<85	<40	<20	<7	<35	<5
Посредственная	70—90	85—110	40—80	20—80	7—40	35—120	5—15
Оптимальная	100	200	150	155	140	250	60
Повышенная	90—70	275—310	255—?	450—650	260—430	415—720	140—195
Избыточная	<70	>310	?	>650	>430	>720	>195

¹ Доза фосфорных удобрений взята по данным [140].

Обращает на себя внимание широкий интервал субоптимальных доз основного удобрения, при которых относительная урожайность оказывается равной 90—100 %. Это связано главным образом с количеством питательных веществ в почве, на которой возделывается культура. Меньшая доза основного удобрения (например, для озимой пшеницы и ярового ячменя соответственно 110 и 80 кг д. в/га в субоптимальном интервале) относится к почвам с высоким содержанием P_2O_5 (более 150 мг на 1 кг почвы при определении методом Чирикова) и K_2O (более 200 мг на 1 кг почвы при определении методом Масловой), а также с высокой нитрификационной способностью почвы (NO_3 после нитрификации методом Кравцова более 45 мг на 1 кг почвы). Большая доза (см. табл. 9.1) (в субоптимальном интервале для озимой пшеницы 275 и ярового ячменя 450 кг д. в/га) относится к почвам с очень низким содержанием доступного для растений фосфора и калия (соответственно менее 20 и 50 мг а 1 кг почвы), а также с очень низкой нитрификационной способностью почвы (NO_3 после нитрификации методом Кравцова менее 5 мг на 1 кг почвы). Таким образом, естественно, что при количественной оценке состояния посевов сельскохозяйственных культур должна учитываться не только доза основного удобрения, но и содержание в почве доступных элементов питания.

Отдельные зерновые культуры по-разному реагируют как на низкие, так и на избыточные дозы основного удобрения D_0 . Так, из данных табл. 9.1 видно, что если снижение урожайности зерна озимой пшеницы на 30 % и более имеет место при дозе менее 85 кг д. в/га, то такое снижение урожайности овса происходит при дозе, в 12 раз меньшей. Это подтверждает более высокую способность овса по сравнению с пшеницей использовать элементы питания, содержащиеся в почве. Если для озимой пшеницы $D_0 \geq 310$ кг д. в/га избыточная, когда урожайность зерна не превышает 70 % от ее значения при оптимальной дозе удобрений, то для ярового ячменя и проса аналогичное наблюдается при дозе более 650 и 720 кг д. в/га соответственно. Таким образом, яровой ячмень и просо по сравнению с другими зерновыми культурами являются более устойчивыми к высоким дозам основного удобрения.

Известно, что эффективность применения основного удобрения зависит также от влажности почвы [58, 83, 126, 133 и др.]. Однако количественные показатели действия удобрений в зависимости от режима увлажнения установлены пока только для частных случаев [126, 133 и др.]. Сложность определения этих показателей состоит в том, что, во-первых, поглощение корнями пищи происходит абсорбционно-обменным путем, а потребление воды растением обуславливается гидрофильностью биокolloидов клетки [83]. На удобренном фоне растения существенно (по [95] до 20—35 %) снижают потребление воды. Во-вторых, количество влаги в почве в течение вегетационного периода сильно колеблется. И в этой связи доступные формы элементов питания рас-

тений, находясь в динамическом равновесии с недоступными [38 и др.], также имеют большие колебания. Поэтому влияние удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур проще рассматривать в зависимости от запасов влаги в почве в определенные периоды вегетации растений.

На рис. 9.4 представлены графики связи урожайности зерна озимой пшеницы с дозами основного удобрения при различных

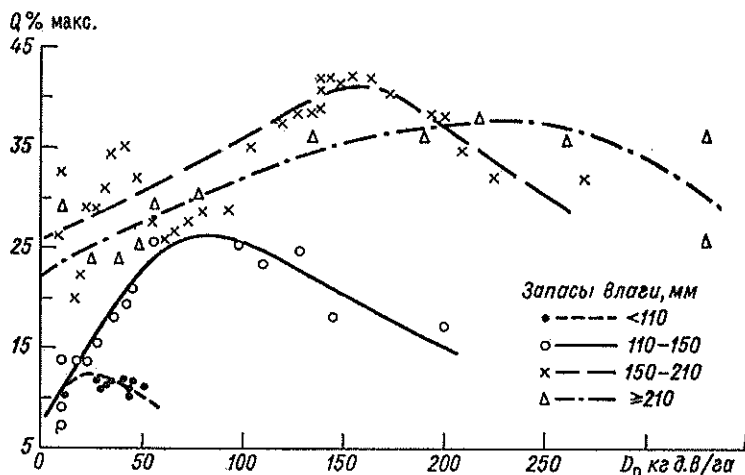


Рис. 9.4. Зависимость урожайности озимой пшеницы Q (% сортового максимума) от дозы основного удобрения D_0 и запасов продуктивной влаги весной (при возобновлении вегетации растений) в метровом слое почвы.

уровнях увлажнения почвы во время возобновления вегетации растений весной. При очень низких запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы (менее 110 мм) урожайность не превышала 12 % сортового максимума; при запасах влаги 110—150 мм урожайность озимой пшеницы достигала 26 % сортового максимума при $D_0 \approx 80$ кг д.в./га. Наибольшая урожайность была получена при запасах продуктивной влаги 150—210 мм и при внесении до сева дозы удобрений 160 кг д.в./га. При дальнейшем увеличении продуктивной влаги весной (более 210 мм) урожайность зерна озимой пшеницы снижается, однако, ее максимум наблюдается уже при дозе удобрений около 230 кг д.в./га. Следует отметить, что чем выше весеннее увлажнение, тем шире интервал субоптимальных доз основного удобрения. При этом нижняя и верхняя границы этого интервала относятся также для почв, богатых и бедных (соответственно) элементами питания. Динамичны также границы недостаточных и избыточных доз основного удобрения.

При низких запасах влаги в метровом слое почвы весной (менее 110 мм) доза основного удобрения $D_0 \geq 60$ кг д.в./га дает

снижение урожайности зерна озимой пшеницы более чем на 30 %; при запасах влаги 150—210 мм подобное снижение урожайности этой культуры наблюдается только при очень большой дозе удобрения ($D_0 < 260$ кг д.в./га).

В этой связи, рассматривая запасы продуктивной влаги в почве весной в географическом плане [91] (их уменьшение при увеличении континентальности климата), становится более понятным давно отмеченное явление снижения эффективности применения удобрений по мере продвижения от северо-западных районов Европейской части СССР к юго-восточным [58, 83, 126, 134 и др.].

Безусловно, сложность рассматриваемой проблемы не позволяет считать ее окончательно решенной. Однако выявленные закономерности могут найти применение при количественной оценке состояния посевов, а также при программировании урожаев и проведении мелиоративных мероприятий.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АГРОЦЕНОЗА

10.1. Оценка состояния посевов озимых зерновых культур осенью и весной

Вполне понятно, что чем больше заблаговременность оценки (как и любого прогноза), тем больше неопределенность действия отдельных факторов на урожай и тем труднее объективно оценить состояние сельскохозяйственных культур по видам на урожайность в ранний период их развития. Для яровых культур таким периодом является период сев — всходы; для озимых культур еще более труднооцениваемым является осенний период. Поэтому в качестве примера рассмотрим осеннюю оценку состояния озимой пшеницы наиболее распространенного сорта Мироновская 808 сначала по видам на урожайность, а затем — по видам на сохранность посева к весне.

На конкретных полях количественная оценка состояния посевов озимой пшеницы и озимой ржи производится по данным наземных осенних и весенних агрометеорологических обследований. Согласно [80], осенние обследования посевов выполняются в конце осени, сразу после того как в течение 5 дней подряд средняя суточная температура воздуха отмечалась ниже 5°C (на Северном Кавказе, в Молдавии, на юге Украины, в закавказских республиках, на юге Казахстана и в Средней Азии — ниже 3°C). В южных районах в годы, когда вегетация растений продолжается в ноябре, обследование проводится дважды: первое — в 1-й декаде ноября, второе — спустя 5 дней после прекращения вегетации растений (последнее может случиться в январе). Весеннее обследование озимых культур проводится через 10 дней после возобновления вегетации растений.

Поскольку при оценке состояния посевов учесть все параметры агроценоза и характеристики состояния среды обитания сообщества не представляется возможным, необходим отбор наиболее информативных из них. Наши исследования показали [8, 138, 141], что из данных наземного осеннего обследования озимой пшеницы, проведенного согласно [80], наиболее информативными относительно урожайности и сохранности посевов к весне оказались высота растений, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, доза основного удобрения (объясняющие дисперсию урожайности на 22—27 %) и густота посева (объясняющая

дисперсию урожайности на 14—19 %). Таким образом, при отсутствии неблагоприятных явлений осенью уравнению (1.2) можно придать более конкретный вид:

$$Q_0 = [Q(M_0) + \Delta Q_1(H_0) + \Delta Q_2(W_{100}) + \Delta Q_3(D_0)] \cdot C^{-1} + 0,5. \quad (10.1)$$

Здесь Q_0 — оценка состояния озимой пшеницы в момент прекращения вегетации растений осенью, баллы; $Q(M_0)$ — основная оценка состояния посева по числу растений M на 1 м^2 ; $\Delta Q_1(H_0)$, $\Delta Q_2(W_{100})$ и $\Delta Q_3(D_0)$ — поправки к основной оценке состояния озимой пшеницы соответственно на высоту растений в момент обследования H_0 , на запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы W_{100} — в это же время, на дозу внесенного до посева удобрения D_0 ; C — цена балла, т/га.

Расчеты на ЭВМ показали, что первоначальную оценку состояния озимой пшеницы Мироновская 808 осенью $Q(M_0)$ как функцию густоты травостоя в формуле (10.1) можно рассчитать по формуле

$$Q(M_0) = 3,8 \left[1 - \left(\frac{M_0 - 650}{650} \right)^2 \right]^{1/2} - 0,3; R_0 = 0,27 \pm 0,096, \quad (10.2)$$

где R_0 — коэффициент корреляции между фактической и рассчитанной с помощью уравнения (10.2) оценками состояния посева озимой пшеницы.

Поправки $\Delta Q_1(H)$, $\Delta Q_2(W_{100})$ и $\Delta Q_3(D_0)$ уравнения (10.1) можно рассчитать по следующим формулам:

$$\Delta Q_1(H_0) = \begin{cases} 0,019H_0^2 - 0,45 & \text{при } 3 \leq H_0 \leq 10 \text{ см,} \\ 1,6 - 1,2(H_0 - 10)^{1/3} & \text{при } 10 < H_0 < 37 \text{ см;} \end{cases} \quad (10.3)$$

$$\Delta Q_2(W_{100}) = \begin{cases} 0,12W_{100} - 1,35 & \text{при } 0 \leq W_{100} \leq 167 \text{ мм,} \\ 3,5 - 0,17W_{100} & \text{при } 167 < W_{100} \leq 280 \text{ мм;} \end{cases} \quad (10.4)$$

$$\Delta Q_3(D_0) = \begin{cases} 0,025D_0 - 2,38 & \text{при } 0 \leq D_0 \leq 130 \text{ кг д. в/га,} \\ 1,5 - 0,005D_0 & \text{при } 130 \leq D_0 \leq 330 \text{ кг д. в/га.} \end{cases} \quad (10.5)$$

Коэффициенты корреляции между фактической оценкой и рассчитанной по формулам (10.3)—(10.5) путем введения к первоначальной оценке $Q(M_0)$ поправок $\Delta Q_1(H_0)$, $\Delta Q_2(W_{100})$ и $\Delta Q_3(D_0)$ оказались равными соответственно $R_{01} = 0,56 \pm 0,067$; $R_{012} = 0,64 \pm 0,060$; $R_{0123} = 0,85 \pm 0,051$ и достоверными на 1 %-ном уровне.

Процесс расчета оценки состояния посева весьма простой. Так, например, при осеннем обследовании посева озимой пшеницы Мироновская 808 на одном из полей получены следующие данные: количество растений на 1 м^2 — 450, средняя высота растений — 16 см, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы — 75 мм, доза основного удобрения — 120 кг д. в/га.

Используя уравнения (10.1) — (10.5), а также принимая, для примера, что цена одного балла $C=1,0$ т/га, получим

$$Q_o = (3,32 - 0,56 - 0,45 + 0,62) : 1,0 + 0,5 = 3,4 \text{ балла},$$

т. е. посевы находятся в посредственном состоянии, урожайность на данном поле можно ожидать около средней.

Количественная оценка состояния озимой пшеницы в % сортового максимума урожайности выполняется также на основании данных полевых обследований конкретных полей. Согласно [137], такая оценка может быть выполнена по следующим схемам:

для осени

$$Q_o = 0,88 [Q(M_o) + \Delta Q_1(D_o) + \Delta Q_2(W_o) + \Delta Q_3(H_o)] + 17,8; \quad (10.6)$$

для весны

$$Q_v = 0,75 [Q(M_v) + \Delta Q_1(D_v) + \Delta Q_2(W_v) + \Delta Q_3(\beta_v) + \Delta Q_4(S_v)] + 12,5. \quad (10.7)$$

Здесь Q_o и Q_v — оценки состояния посева осенью и весной, % максимальной урожайности (% макс.); $Q(M_o)$ и $Q(M_v)$ — первоначальные оценки состояния посева по фактически наблюдаемому количеству живых растений на 1 м² осенью и весной соответственно; $\Delta Q_1(D_o)$, $\Delta Q_2(W_o)$, $\Delta Q_2(W_v)$, $\Delta Q_3(H_o)$, $\Delta Q_4(S_v)$ и $\Delta Q_3(\beta_v)$ — поправки к первоначальной оценке состояния посева озимой пшеницы на дозу основного удобрения D_o кг д.в./га, на количество продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы осенью W_o и весной W_v , на высоту растений H_o (см) в момент осеннего обследования, на число стеблей одного растения весной β_v и на площадь поля с погибшими к весне растениями S_v (%).

Количественная оценка посевов озимой ржи (% сортового максимума урожайности) на конкретных полях осенью Q_o и весной Q_v , согласно [137], рассчитывается по формулам, конкретизирующим функцию (1.2):

$$Q_o = Q(M_o) + \Delta Q_1(W_o) + \Delta Q_2(D_o) + \Delta Q_3(\beta_o), \quad (10.8)$$

$$Q_v = Q(M_v) + \Delta Q_1(W_v) + \Delta Q_2(D_o) + \Delta Q_3(\beta_v) + \Delta Q_4(S_v), \quad (10.9)$$

где $\Delta Q_3(\beta_o)$ — поправка на количество стеблей одного растения осенью β_o ; остальные обозначения те же, что в формулах (10.6) и (10.7).

Все слагаемые функции в формулах (10.6) — (10.9), кроме функции $\Delta Q_3(H_o)$ и $\Delta Q_4(S_v)$, находятся по графикам рис. 3.7 (кривые 1, 2) и по табл. 10.1—10.4. Поправка $\Delta Q_3(H_o)$ к оценке состояния посевов озимой пшеницы осенью на высоту растений H_o определяется по следующим данным:

H_o см	3—4	5	6	7—21	22	23	24	25	26	27
$\Delta Q_3(H_o)$ % макс.	—12	—9	—6	0	—6	—12	—19	—24	—30	—36

Таблица 10.4

Поправка $\Delta Q_3 (\beta_{0, n})$ (% сортового максимума урожайности к первоначальной оценке состояния озимых осенью и весной на кустистость растений

Кустистость растений	Пшеница при оценке весной	Рожь при оценке	
		осенью	весной
Всходы	—5	—3	—10
3-й лист	—3	—3	—5
Количество побегов			
1,0	—1	—3	0
1,5	1	—3	5
2,0	3	—3	9
2,5	5	—1	5
3,0	7	1	—1
3,5	9	6	—6
4,0	11	11	—9
4,5	13	13	—10
5,0	15	12	—11

Рассмотрим оценку состояния озимых посевов осенью по видам на их сохранность к весне, которая определяется биологическими особенностями сорта, состоянием растений в момент прекращения осенней вегетации и агрометеорологическими условиями холодного периода [74, 133, 138]. Кроме того, исход перезимовки зависит от дозы внесенных удобрений D_0 и агрометеорологических условий осенней вегетации. Следовательно, без учета эффективности применения удобрений и агрометеорологических условий осени оценка зимостойкости озимых культур будет не полной.

В качестве показателя оценки сохранности посева озимых культур в процессе зимовки, на наш взгляд, целесообразнее принять площадь поля с погибшими растениями S_v (%). На рис. 4.1 показана связь S_v с высотой растений осенью, а в соответствующих главах отмечена зависимость этого показателя от дозы основного удобрения, густоты стеблестоя и запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на момент прекращения вегетации растений осенью. Эти закономерности, рассмотренные в работах [138, 141], удовлетворительно описываются уравнениями

$$S_v(L_0) = \begin{cases} 6 & \text{при } L_0 \leq 900 \text{ м}^{-2}, \\ 0,0165L_0 - 9 & \text{при } 900 < L_0 \leq 2600 \text{ м}^{-2}; \end{cases} \quad (10.12)$$

$$S_v(D_0) = \begin{cases} 0,016D_0 + 2 & \text{при } D_0 \leq 300 \text{ кг д. в/га}, \\ 0,12D_0 - 29 & \text{при } D_0 \geq 300 \text{ кг д. в/га}; \end{cases} \quad (10.13)$$

$$S_v(W_0) = 0,064W_0 + 2 \quad \text{при } W_0 > 25 \text{ мм}. \quad (10.14)$$

Здесь L_0 — количество стеблей на 1 м² на момент прекращения вегетации растений осенью; D_0 — доза основного удобрения,

кг д. в/га; W_0 — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на момент прекращения вегетации растений осенью, мм.

Осенний период является критическим и, следовательно, удобрения играют не последнюю роль на зимостойкость посева. Коэффициент связи R_{D_0} между фактической площадью поля с погибшими растениями и рассчитанной по уравнению (10.13), оказался равным $0,62 \pm 0,093$.

В сельскохозяйственном производстве гибель растений на площади до 10 % поля принято считать естественной. Согласно уравнению (10.13), гибель растений на площади более 10 % поля для озимой пшеницы Мироновская 808 наблюдается в том случае, если доза основного удобрения D_0 составляет более 320—350 кг д. в/га. Вероятно, это верхний предел основного удобрения для озимой пшеницы сорта Мироновская 808.

Высота растений перед зимовкой является одной из характеристик, отражающих их зимостойкость (см. рис. 4.1). Связь между фактической и рассчитанной (с помощью рис. 4.1) площадью поля с погибшими растениями характеризуется относительно высоким коэффициентом корреляции; $R_{H_0} = 0,66 \pm 0,054$. Как видно из рис. 4.1, переросшие посевы с высотой растений перед уходом в зиму 12—14 см и более обладают пониженной зимостойкостью, и весной на значительной площади поля наблюдается гибель растений.

Известно также, что загущенные посевы озимой пшеницы зимуют хуже, чем посевы с нормальной густотой стеблестоя. Согласно уравнению (10.12), гибель посевов озимой пшеницы Мироновская 808 более чем на 10 % площади поля наблюдалась при густоте 1200 и более стеблей на 1 м² ($R_{L_0} = 0,46 \pm 0,098$).

При избыточном увлажнении почвы осенью растения к моменту прекращения вегетации насыщаются влагой и чаще всего хуже переносят неблагоприятные условия зимнего периода.

Достаточно хорошо проявляется также зависимость сохранности растений озимой пшеницы от запасов продуктивной влаги перед зимовкой. Однако коэффициент корреляции между рассчитанной по запасам влаги с помощью уравнения (10.14) и фактической площадью поля с погибшими растениями оказался невысоким ($0,32 \pm 0,135$).

Отклонения значений S_y , полученных с помощью рис. 4.1 и рассчитанных по уравнениям (10.12)—(10.14), от фактических в 66—81 % случаев не превышают 5 % и в 82—91 % случаев — 10 % (табл. 10.5).

Для установления зависимости площади поля с погибшими растениями озимой пшеницы от агрометеорологических факторов применялся метод последовательной регрессии [84] с использованием ЭВМ. В результате были получены следующие уравнения связи:

$$\hat{S}_1 = 0,931 S_y(H_0) + 0,529 S_y(L_0) - 3,6, \quad (10.15)$$

$$\hat{S}_2 = 0,896 S_V(D_0) + 0,429 S_V(W_0) - 3,2, \quad (10.16)$$

$$\hat{S}_3 = -0,267 \hat{S}_1 + 1,153 \hat{S}_2 + 0,6, \quad (10.17)$$

где $\hat{S}_1$, $\hat{S}_2$ и $\hat{S}_3$ — площадь поля с погибшими растениями, %; $S_V(H_0)$, $S_V(L_0)$, $S_V(D_0)$ и $S_V(W_0)$ — функции, полученные с помощью рис. 4.1 и рассчитанные по уравнениям (10.12) — (10.14).

Таблица 10.5

Вероятность отклонений значений S_V , полученных по рис. 4.1 (кривая 2) и рассчитанных по уравнениям (10.12) — (10.14), от фактических (использованы данные, по которым устанавливались связи)

Предиктор	Число случаев	Коэффициент корреляции	Вероятность отклонений, %	
			5	10
Высота растений H_0	61	0,66	66	91
Доза основного удобрения D_0	40	0,62	77	82
Густота стеблестоя (количество стеблей на 1 м ²) L_0	65	0,46	80	91
Запасы продуктивной влаги в метровом слое W_0	44	0,32	81	88

Пример. При осеннем обследовании озимой пшеницы Мироновская 808 наблюдалось следующее: $H_0 = 28$ см, $L_0 = 2000$ м⁻², $D_0 = 500$ кг д.в/га, $W_0 = 260$ мм. Тогда, используя рис. 4.1 (кривую 2) и уравнения (10.12) — (10.14), получаем: $S_V(H_0) = 48,5$ %, $S_V(L_0) = 24,5$ %, $S_V(D_0) = 32,5$ % и $S_V(W_0) = 20$ %. Подставив эти значения в формулы (10.15) — (10.17), рассчитаем площадь поля с погибшими растениями:

$$\hat{S}_1 = 0,931 \cdot 48,5 + 0,529 \cdot 24,5 - 3,6 = 54,6 \%,$$

$$\hat{S}_2 = 0,896 \cdot 32,5 + 0,429 \cdot 20 - 3,2 = 29,1 + 8,6 - 3,2 = 34,5 \%,$$

$$\hat{S}_3 = -0,267 \cdot 54,6 + 1,153 \cdot 34,5 + 0,6 = -14,6 + 39,8 + 0,6 = 25,8 \%.$$

Следовательно, можно предполагать, что на 25—26 % площади поля весной будут пятна («плешины») с погибшими растениями. Это значит, что на этом поле потребуются подсев яровой культурой, а возможно и пересев этого поля. Вполне понятно, что в зависимости от конкретных условий зимнего периода гибель растений может быть и на большей части поля, однако такая заблаговременная оценка уровня сохранности растений к весне уже в конце осени — начале зимы позволяет своевременно наметить мероприятия по восстановлению посева.

Коэффициенты корреляции между рассчитанной по формулам (10.15) — (10.17) и фактической площадью поля с погибшими растениями возрастает соответственно до 0,71, 0,79 и 0,85, а вероятность отклонений, рассчитанных на том же материале, в 81—82 % случаях не превышает 5 %, и в 87—100 % случаев — 10 %.

Таким образом, пользуясь формулами (10.12) — (10.17) и графиком рис. 4.1, по данным осеннего обследования на момент пре-

крашения вегетации растений озимой пшеницы осенью можно давать заблаговременную оценку состояния этой культуры весной.

10.2. Оценка состояния посевов зерновых колосовых культур на конкретных полях в фазу колошения

В качестве исходных для оценки состояния зерновых культур (озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ярового ячменя и овса) на конкретных полях в фазу колошения используются материалы натурных обследований посевов и расчетные схемы, полученные на ЭВМ путем применения метода последовательной регрессии [84].

Согласно [137], количественная оценка состояния озимой пшеницы на конкретных полях в фазу колошения Q_k (% макс.) выполняется по следующей схеме:

$$Q_k = [0,81F_1 + 0,84F_2 + \Delta Q_1(D_o) - 23,6] \left(1 - \frac{0,4S_{\pi}}{S}\right), \quad (10.18)$$

$$F_1 = 0,45(L_k) + 0,88Q(H_k) - 13,2, \quad (10.19)$$

$$F_2 = 1,02Q(W_b) + 0,40Q(S_v) - 19,2. \quad (10.20)$$

Здесь $Q(L_k)$, $Q(H_k)$, $Q(W_b)$ и $Q(S_v)$ — частные оценки состояния посевов озимой пшеницы (% макс.) по густоте стеблей на 1 м^2 L_k и высоте растений в фазу колошения H_k , по запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы W_b и площади поля S_v (%) с погибшими растениями и сильноизреженными местами весной; $\Delta Q_1(D_o)$ — поправка (% макс.) к оценке состояния посева озимой пшеницы в фазу колошения на дозу основного удобрения D_o ; S_{π}/S — доля площади поля с полеглими растениями (отношение площади поля с полеглими растениями S_{π} ко всей площади поля S).

Частные оценки $Q(L_k)$ и $Q(W_b)$ определяются соответственно по рис. 3.7 (кривая 4) и табл. 10.1 (графы 9 и 10), а поправка на дозу основного удобрения $\Delta Q_1(D_o)$ — по табл. 10.3 (графы 1 и 4). Частная оценка состояния озимой пшеницы по высоте растений рассчитывается по формуле $Q(H_k) = 0,66H_k$, частная оценка $Q(S_v)$ определяется по следующим данным:

S_v %	0	10	20	30	40	50	60
$Q(S_v)$ % макс	55	43	37	31	26	21	18

Количественная оценка состояния посевов яровой пшеницы в фазу колошения на конкретных полях выполняется по следующей схеме:

$$Q = [0,87Q(L_k) + Q(H_k) + \Delta Q_1(D_o) + \Delta Q_2(K_k) + \Delta Q_3(W_k) - 30] \left(1 - \frac{0,4S_{\pi}}{S}\right), \quad (10.21)$$

где $Q(L_K)$ и $Q(H_K)$ — частные оценки состояния посевов яровой пшеницы (% макс.) по густоте продуктивных стеблей L_K и высоте растений в фазу колошения H_K (см.); $\Delta Q_1(D_0)$, $\Delta Q_2(K_K)$ и $\Delta Q_3(W_K)$ — поправки к частным оценкам состояния посевов яровой пшеницы на дозу основного удобрения D_0 , количество развитых колосков в колосе K_K и запасы продуктивной влаги W_K (мм) в метровом слое почвы в фазу колошения. Частная оценка $Q(L_K)$ определяется по табл. 10.1 (графы 3 и 4); частная оценка $Q(H_K)$ вычисляется по формуле $Q(H_K) = 0,71 H_K + 5,7$.

Поправки $Q_1(D_0)$ и $\Delta Q_3(W_K)$ определяются соответственно по табл. 10.3 (графы 1 и 8) и 10.2 (графы 1 и 6). Поправка $\Delta Q(K_K)$ рассчитывается по следующим данным:

K_K	6	8	10	12	14	16	18	20
$\Delta Q(K_K)$ % макс . . .	-9	-3	2	2	-1	-3	-5	-8

Количественная оценка состояния посевов овса в фазу выметывания метелки на конкретных полях выполняется по следующим схемам:

а) при отсутствии данных о влажности почвы

$$Q = (0,16F_1 + 0,94F_2 - 4,0) \left(1 - \frac{0,4S_n}{S}\right), \quad (10.22)$$

где

$$F_1 = 0,43Q(L_K) + 0,94Q(H_K) - 11,9, \quad (10.23)$$

$$F_2 = 0,74Q(D_0) + 0,85Q(K_K) - 23,9; \quad (10.24)$$

б) при наличии данных по влажности почвы

$$Q = [0,43F_1 + 0,41F_2 + 0,62 \Delta Q_1(D_0) + 8,3] \left(1 - \frac{0,4S_n}{S}\right), \quad (10.25)$$

где

$$F_1 = 0,59Q(L_K) + 0,86Q(K_K) - 16,9, \quad (10.26)$$

$$F_2 = 0,38Q(W_K) + 0,91Q(H_K) - 11. \quad (10.27)$$

Частные оценки состояния посевов овса определяются:

$Q(L_K)$ и $Q(W_K)$ — по табл. 10.1 (соответственно графы 3, 5 и 9, 11);

$Q(K_K)$ и $Q(D_0)$ — соответственно по рис. 5.3 (кривая 2) и рис. 9.3 (кривая 2);

$Q(H_K)$ — по формуле $Q(H_K) = 0,66 H_K$;

$\Delta Q_1(D_0)$ — по табл. 10.3 (графы 1, 9).

Количественная оценка состояния посевов озимой ржи на конкретных полях в фазу колошения Q_K выполняется также на основании данных агрометеорологических обследований посевов по следующей схеме:

$$Q_K = [Q(B_K) + \Delta Q_1(D_0) + \Delta Q_2(K_K) + \Delta Q_3(W_K)] \left(1 - \frac{0,4S_n}{S}\right), \quad (10.28)$$

где $Q(B_k)$ — первоначальная оценка состояния посева по биомассе растений B_k в фазу колошения (определяется по табл. 10.1, графы 6, 7); $\Delta Q_1(D_o)$; $\Delta Q_2(K_k)$ и $\Delta Q_3(W_b)$ — поправки к первоначальной оценке состояния посевов на дозу основного удобрения D_o , количество развитых колосков в колосе в фазу колошения K_k и на запасы продуктивной влаги W_b (мм) в момент весеннего обследования. Поправка $\Delta Q_1(D_o)$ определяется по табл. 10.3 (графы 1, 7). При этом показатель биомассы растений B_k (ст.см. $\cdot 10^{-2}$.м $^{-2}$), и поправки на количество колосков в колосе и запасы продуктивной влаги рассчитываются по формулам

$$B_k = \frac{L_k H_k}{100}, \quad (10.29)$$

$$\Delta Q_2(K_k) = 1,30K_k - 38,2, \quad (10.30)$$

$$\Delta Q_3(W_b) = 14 - 0,073W_b, \quad \text{при } 90 \leq W_b \leq 350 \text{ мм}, \quad (10.31)$$

где L_k и H_k — соответственно количество колосonoсных стеблей на 1 м 2 и высота растений (см) в фазу колошения.

Количественная оценка состояния посевов ярового ячменя на конкретных полях в фазу колошения Q_k выполняется по схеме

$$Q_k = \{0,78 [Q(B_k) + \Delta Q_1(W_n) + \Delta Q_2(D_o)] + 15,6\} \left(1 - \frac{0,4S_n}{S}\right), \quad (10.32)$$

где $Q(B_k)$ — первоначальная оценка состояния посева, определяемая по табл. 10.1 (графы 6, 8) по показателю биомассы растений в фазу колошения, который вычисляется по формуле (10.29); $\Delta Q_1(W_n)$ и $\Delta Q_2(D_o)$ — поправки к первоначальной оценке состояния посева на запасы продуктивной влаги W_n в метровом слое почвы в момент сева и дозу основного удобрения D_o , определяемые соответственно по табл. 10.2 (графы 1, 7) и 10.3 (графы 1, 10).

Кроме описанных схем количественную оценку состояния посевов зерновых колосовых культур можно рассчитывать по критериям оптимальности аналогично тому, как это выполнено в п. 10.3 для гречихи и проса.

10.3. Оценка состояния крупяных культур (гречиха, просо)

Рассмотрим количественную оценку состояния посевов гречихи [140] и проса по известной схеме Митчерлиха, описанную в работе [113]. Оценка состояния посева гречихи выполняется после сева, появления всходов и в начале массового цветения растений, проса — после сева и в моменты массового наступления фаз кушения и выметывания метелки.

Для оценки состояния гречихи после сева используют данные о норме высева семян E (млн. шт/га) и дозе фосфорных удобре-

ний D_p (кг д. в/га). Расчет оценки состояния посева Q_p (%) производится по формуле

$$Q_p = 10^{-2} \cdot Q(E) Q(D_p), \quad (10.33)$$

где $Q(E)$ и $Q(D_p)$ — частные оценки состояния посева по норме высева семян и дозе фосфорных удобрений, полученные по табл. 10.6 и 10.7. Здесь и в табл. 10.6—10.13, 10.15—10.18 эти оценки даны в % сортового максимума урожайности.

Пример. Норма высева семян 4 млн. шт/га ($E=4,0$), фосфорные удобрения не вносились ($D_p=0$). Тогда по табл. 10.6 и 10.7 находим: $Q(E)=78,1\%$, а $Q(D_p)=53,0\%$. Подставляя эти значения в формулу (10.33), получаем $Q_p=10^{-2} \cdot 78,1 \cdot 53,0=41,4\%$ сортового максимума урожайности. Это соответствует 3 баллам, если принять шкалу соотношения оценок, указанную в табл. 2.2.

Таблица 10.6

Частная оценка состояния посева гречихи $Q(E)$ в зависимости от нормы высева семян E (млн. шт/га)

E	$Q(E)$	E	$Q(E)$	E	$Q(E)$	E	$Q(E)$
1,00	18,7	2,25	58,3	3,50	92,7	4,75	63,5
1,25	24,0	2,50	68,7	3,75	84,3	5,00	59,3
1,50	30,2	2,75	82,1	4,00	78,1	5,25	56,3
1,75	37,5	3,00	95,8	4,25	73,0	5,50	53,2
2,00	44,8	3,25	100,0	4,50	67,7	5,75	51,1

Таблица 10.7

Частная оценка состояния посева гречихи $Q(D_p)$ в зависимости от дозы фосфорных удобрений D_p (кг д. в/га)

D_p	$Q(D_p)$	D_p	$Q(D_p)$	D	$Q(D_p)$	D	$Q(D_p)$
0	53,0	60	100	120	94,0	180	74,7
10	79,5	70	100	130	91,6	190	71,7
20	91,6	80	98,8	140	89,2	200	66,3
30	96,4	90	97,6	150	85,5	210	61,4
40	98,8	100	96,4	160	81,8	220	56,6
50	100,0	110	95,2	170	78,2	230	51,7

При появлении массовых всходов гречихи, кроме данных о норме высева семян и дозе фосфорных удобрений, для оценки состояния посева гречихи используется информация о продолжительности периода сев — всходы τ_v (дни) и средней температуре воздуха за этот период θ ($^{\circ}\text{C}$). Оценка состояния посева гречихи в этот момент Q_v (%) рассчитывается по формуле

$$Q_v = 10^{-6} \cdot Q(E) Q(D_p) Q(\tau_v) Q(\theta), \quad (10.34)$$

где $Q(\tau_v)$ и $Q(\theta)$ — частные оценки состояния посева соответственно по продолжительности периода сев — всходы и средней

температуре воздуха за этот период, полученные по табл. 10.8 и 10.9.

Пример. При норме высева семян $E=3,0$ млн. шт/га внесено фосфорных удобрений P_2O_5 по 20 кг/га ($D_P=20$). Массовые всходы появились на 10-й день после сева ($\tau_n=10$ дней); средняя температура воздуха за этот период $\theta=13,0^\circ C$. Тогда по табл. 10.6—10.9 находим: $Q(E)=96\%$, $Q(D_P)=92\%$, $Q(\tau_n)=86\%$ и $Q(\theta)=89\%$. Подставляя эти значения в формулу (10.34), получаем $Q_n=68\%$ сортового максимума урожайности, или 5 баллов.

Таблица 10.8

Частная оценка состояния посева гречихи $Q(\tau_n)$ в зависимости от продолжительности периода сев — всходы τ_n (дни)

τ_n	$Q(\tau_n)$	τ_n	$Q(\tau_n)$	τ_n	$Q(\tau_n)$	τ_n	$Q(\tau_n)$
5	100	11	83	17	63	23	37
7	95	13	77	19	55	25	27
9	89	15	71	21	47	27	16

Таблица 10.9

Частная оценка состояния посева гречихи $Q(\theta)$ в зависимости от средней температуры воздуха за период сев — всходы θ ($^\circ C$)

θ	$Q(\theta)$	θ	$Q(\theta)$	Q	$Q(\theta)$	θ	$Q(\theta)$
5	14	12	85	17	100	22	87
7	39	13	89	18	99	23	81
8	52	14	94	19	97	24	75
9	60	15	96	20	94	25	67
10	69	16	98	21	91	26	58
11	77	—	—	—	—	—	—

После начала полного цветения растений для оценки состояния посева гречихи Q_n (%) используются данные о густоте растений M (m^{-2}), дозе фосфорных удобрений D_P (кг д. в/га), продолжительности периода сев—начало полного цветения τ_n (дни) и значения гидротермического коэффициента за этот период ($mm/100^\circ C$), определяемые по формуле (8.7). Оценка состояния посева гречихи рассчитывается по формуле

$$Q_n = 10^{-5} \cdot Q(M_n) Q(D_P) Q(\tau_n) Q(ГТК), \quad (10.35)$$

где $Q(M_n)$, $Q(D_P)$, $Q(\tau_n)$ и $Q(ГТК)$ — частные оценки состояния посева гречихи соответственно по густоте растений, дозе фосфорных удобрений, продолжительности периода сев — цветение и показателю увлажнения за этот период, которые находятся в табл. 10.10—10.12.

Таблица 10.10

Частная оценка состояния посева гречихи $Q(M)$ в зависимости от числа растений (M) на 1 м^2

M	$Q(M)$	M	$Q(M)$	M	$Q(M)$	M	$Q(M)$
100	26	225	97	350	83	475	67
125	40	250	99	375	80	500	64
150	57	275	96	400	77	525	62
175	75	300	93	425	73	550	60
200	89	325	88	450	70	575	58

Таблица 10.11

Частная оценка состояния посева гречихи $Q(\tau_{ц})$ в зависимости от продолжительности периода сев — цветение $\tau_{ц}$ (дни)

$\tau_{ц}$	$Q(\tau_{ц})$	$\tau_{ц}$	$Q(\tau_{ц})$	$\tau_{ц}$	$Q(\tau_{ц})$	$\tau_{ц}$	$Q(\tau_{ц})$
15	31	40	99	65	81	90	47
20	44	45	100	70	76	95	41
25	66	50	99	75	69	100	35
30	87	55	94	80	63	—	—
35	95	60	88	85	55	—	—

Таблица 10.12

Частная оценка состояния посева гречихи $Q(\Gamma\Gamma\text{К})$ в зависимости от показателя увлажнения ($\Gamma\Gamma\text{К}$ мм/100 °С) в период сев — цветение

$\Gamma\Gamma\text{К}$	$Q(\Gamma\Gamma\text{К})$	$\Gamma\Gamma\text{К}$	$Q(\Gamma\Gamma\text{К})$	$\Gamma\Gamma\text{К}$	$Q(\Gamma\Gamma\text{К})$	$\Gamma\Gamma\text{К}$	$Q(\Gamma\Gamma\text{К})$
0,0	73	10,0	96	20,0	98	30,0	60
2,5	85	12,5	98	22,5	92	32,5	43
5,0	91	15,0	100	25,0	83	35,0	24
7,5	94	17,5	100	27,5	73	37,0	0

Пример. Густота всходов $M_n=400$ раст/м², $D_p=20$ кг д. в/га. Массовое цветение началось на 30-й день после сева ($\tau_{ц}=30$ дней), $\Gamma\Gamma\text{К}$ за период сев — цветение равен 25 мм/100 °С. Тогда по табл. 10.10, 10.7, 10.11 и 10.12 определяем частные оценки: $Q(M)=77\%$, $Q(D_p)=92\%$, $Q(\tau_{ц})=87\%$ и $Q(\Gamma\Gamma\text{К})=83\%$. Подставляя эти значения в формулу (10.35), получаем $Q_n=51\%$ сортового максимума урожайности, или 4 балла.

После сева для оценки состояния посева проса используются также данные о норме сева семян E и дозе внесенных азотно-фосфорно-калийных удобрений D . Расчет оценки состояния посева Q_n проводится по формуле

$$Q_n = Q(E) K(D), \quad (10.36)$$

где $Q(E)$ — частная оценка состояния посева (% сортового максимума) по норме высева семян (табл. 10.13), $K(D)$ — поправочный коэффициент к оценке состояния посева на дозу внесенных удобрений (табл. 10.14).

Таблица 10.13

Частная оценка состояния посева проса $Q(E)$ в зависимости от нормы высева семян E (млн. шт/га)

E	$Q(E)$	E	$Q(E)$	E	$Q(E)$
1,50	47,8	3,75	100,0	6,00	65,2
1,75	51,1	4,00	99,0	6,95	58,7
2,00	55,5	4,25	95,6	6,50	52,2
2,25	62,0	4,50	93,5	6,75	45,6
2,50	76,1	4,75	90,2	7,00	39,1
2,75	86,0	5,00	86,0	7,25	33,7
3,00	94,5	5,25	81,5	7,50	29,3
3,25	99,0	5,50	77,2	7,75	23,9
3,50	100,0	5,75	71,7	8,00	17,4

Пример. Норма высева семян $E=4$ млн. шт/га, удобрения не вносились ($D=0$). С учетом этих данных по табл. 10.13 и 10.14 находим, что $Q(E)=99,0\%$, $K(D)=0,54$. Подставляя эти значения в формулу (10.37), получаем $Q_n=53,5\%$ сортового максимума урожайности, что соответствует 4 баллам принятой нами шкалы оценок.

Таблица 10.14

Поправочный коэффициент $K(D)$ к оценке состояния посева проса на дозу внесенных азотно-фосфорно-калийных удобрений D (кг д. в/га)

D	$K(D)$	D	$K(D)$	D	$K(D)$
0	0,54	200	0,98	425	0,90
20	0,64	225	0,99	450	0,88
40	0,72	250	1,00	475	0,86
60	0,77	275	1,00	500	0,84
80	0,82	300	0,99	600	0,76
100	0,87	325	0,98	700	0,72
125	0,91	350	0,96	800	0,66
150	0,94	375	0,94	900	0,61
175	0,96	400	0,92		

В фазу кушения оценка состояния посева проса производится по данным о густоте растений M (m^{-2}), средней температуре воздуха за период всходы — кушение $\theta_{вк}$ ($^{\circ}C$) и количестве внесенных удобрений D (кг д. в/га). Оценка состояния посева проса в фазу кушения Q_k (%) производится по формуле

$$Q_k = [0,87Q(M) + 0,76Q(\theta_{вк}) + 22,2]K(D), \quad (10.37)$$

где $Q(M)$ и $Q(\theta_{вк})$ — частные оценки состояния посева проса по густоте растений (табл. 10.15) и средней температуре воздуха

Таблица 10.15

Частная оценка состояния посева проса $Q(M)$ в зависимости от числа растений M на 1 м^2

M	$Q(M)$	M	$Q(M)$	M	$Q(M)$
25	4,0	130	33,5	250	45,0
35	8,0	140	35,0	275	45,2
45	12,0	150	36,5	300	45,5
50	13,5	160	38,0	325	46,0
65	18,0	170	39,0	350	46,0
75	22,0	185	41,0	400	46,0
85	25,0	190	42,0	450	45,7
90	26,0	200	42,5	500	44,0
100	28,5	210	43,0		
110	30,5	220	44,0		
120	32,0	230	44,0		

Таблица 10.16

Частная оценка состояния посева проса $Q(\theta_{\text{вк}})$ в зависимости от средней температуры воздуха $\theta_{\text{вк}}$ ($^{\circ}\text{C}$) в период всходы—кущение

$\theta_{\text{вк}}$	$Q(\theta_{\text{вк}})$	$\theta_{\text{вк}}$	$Q(\theta_{\text{вк}})$	$\theta_{\text{вк}}$	$Q(\theta_{\text{вк}})$
0,5	29,0	10,0	47,5	21,0	31,5
1,5	31,0	11,0	49,0	22,0	29,0
2,0	32,0	12,0	50,0	23,0	27,5
2,5	33,2	13,0	50,0	24,0	26,0
3,0	34,5	14,0	48,0	25,0	25,0
4,0	36,5	15,0	46,0	26,5	23,2
5,0	38,2	16,0	43,5	27,5	22,2
6,0	40,0	17,0	41,0	30,0	20,0
7,0	42,0	18,0	38,5	32,5	18,5
8,0	44,0	19,0	36,5	35,0	17,0
9,0	45,5	20,0	34,0	37,5	16,0
				40,0	15,5

за период всходы — кущение (табл. 10.16), $K(D)$ — поправочный коэффициент (определяется по табл. 10.14).

Пример. Густота всходов $M=350$ раст/ м^2 , $\theta_{\text{вк}}=13^{\circ}\text{C}$, $D=0$. Тогда по табл. 10.15, 10.16 и 10.14 определяем частные оценки: $Q(M)=46,0$, $Q(\theta_{\text{вк}})=50,0$ и $K(D)=0,54$. Подставляя эти значения в формулу (10.37), получаем $Q_{\text{к}}=54\%$ сортового максимума урожайности, или 4 балла.

Для оценки состояния посева проса после наступления фазы выметывания, кроме данных, используемых при оценке в фазу кущения по формуле (10.37), используются данные о средней температуре воздуха $\theta_{\text{кв}}$ ($^{\circ}\text{C}$) и ГТК ($\text{мм}/100^{\circ}\text{C}$) за период кущение — выметывание.

Оценка состояния посева проса в эту фазу производится по формуле

$$Q_{\text{в}} = [0,69Q(M) + 0,60Q(\theta_{\text{вк}}) + 0,39Q(\theta_{\text{кв}}) + 0,20Q(\text{ГТК}) + 7,5] K(D), \quad (10.38)$$

где $Q(\theta_{\text{кв}})$ и $Q(\text{ГТК})$ — частные оценки состояния посева проса по средней температуре воздуха за период кушение — выметывание (табл. 10.17) и показателю увлажнения (ГТК) за тот же период (табл. 10.18). Остальные обозначения приведены выше.

Коэффициенты корреляции между фактической¹ и рассчитанной по формулам (10.33)–(10.38) оценками состояния посевов гречихи и проса в зависимости от сорта составили 0,71–0,92.

Рассмотрим количественную оценку состояния посевов по критериям оптимальности основных факторов для формирования

Таблица 10.17

Частная оценка состояния посева проса $Q(\theta_{\text{кв}})$ в зависимости от температуры воздуха $\theta_{\text{кв}}$ (°C) в период кушение — выметывание растений

$\theta_{\text{кв}}$	$Q(\theta_{\text{вк}})$	$\theta_{\text{кв}}$	$Q(\theta_{\text{вк}})$	$\theta_{\text{вк}}$	$Q(\theta_{\text{вк}})$
14	25	20	37,0	26	6
15	34	21	31,0	27	3
16	42	22	25,0	28	0
17	50	23	20,0		
18	54	24	15,5		
19	44	25	10,5		

Таблица 10.18

Частная оценка состояния посева проса $Q(\text{ГТК})$ в зависимости от показателя увлажнения (ГТК мм/100 °C) в период кушение — выметывание растений

ГТК	$Q(\text{ГТК})$	ГТК	$Q(\text{ГТК})$	ГТК	$Q(\text{ГТК})$
0,0	11,0	15,0	48,5	45,0	42,0
2,5	27,5	20,0	48,0	50,0	40,5
5,0	36,0	25,0	47,5	55,0	38,5
7,5	40,5	30,0	46,0	60,0	36,5
10,0	44,0	35,0	45,0	65,0	34,0
12,5	47,0	40,0	43,5	70,0	32,0

урожайности зерна [142] применительно к гречихе. Эта задача в общем аналогична оценке агроклиматических ресурсов для целей размещения сельскохозяйственных культур изложенной в работах [27, 39]. Для решения поставленной задачи целесообразно использовать установленные в предыдущих главах интервалы не-

¹ Под фактической оценкой состояния посевов сельскохозяйственных культур подразумевается фактическая урожайность зерна, выраженная по формуле (2.3) в % сортового максимума.

достаточного, субоптимального и избыточного уровней отдельных факторов относительно урожайности сельскохозяйственных культур. В этой связи в работе [142] была предложена оценочная шкала по степени благоприятности отдельных факторов для формирования урожайности гречихи (табл. 10.19).

Из данных табл. 10.19 видно, что при норме высева семян 2,9—3,6 млн. шт/га и внесении фосфорных удобрений в дозах 18—139 кг д.в/га складывается благоприятное сочетание этих факторов и состояние посева гречихи после сева следует оценивать в 5 баллов. При низких нормах высева семян ($E < 2,5$ млн. шт/га) и дозах фосфорных удобрений ($D_p < 5$ кг д.в/га), а также при чрезмерно высоких нормах высева ($E > 4,4$ млн. шт/га) и дозах фосфорных удобрений ($D_p > 195$ кг д.в/га) посевы гречихи оцениваются как очень плохие (1 балл).

Таблица 10.19

Шкала оценки состояния посева гречихи Q (балл) после сева [$Q_c = F(E, D_p)$] и в начале цветения растений [$Q_c = F_1(M, D_p) + F_2(\tau_{cc}, ГТК) \cdot 2^{-1}$]. По данным [140]

Е млн. шт/га	М м ⁻²	τ _{сц} дни	D _p кг д.в/га		
			< 5, > 195	5—17, 140—195	18—139
				ГТК мм/100 °С	
			< 0,5, > 28,5	0,5—4,4, 23,1—28,5	4,5—23,0
< 2,5, > 4,4	< 166, > 455	< 26, > 74	1	2	3
2,5—2,9, 3,6—4,4	166—200, 315—455	26—31, 59—74	2	3	4
2,9—3,6	200—315	32—58	3	4	5

Для оценки состояния посевов в начале цветения гречихи по табл. 10.19 находят две частные оценки состояния посева: одну — по густоте растений (M м⁻²) и дозе фосфорных удобрений D_p , другую — по продолжительности периода сев—начало цветения τ_{cc} и значению ГТК за этот период, и из них рассчитывается средняя. В этом случае наивысшая оценка (5 баллов) имеет место при благоприятной ситуации. При недостатке или избытке хотя бы одного из факторов оценка снижается и составляет 1 балл при явном недостатке и избытке всех используемых в модели факторов. Здесь для оценки состояния посева гречихи используются только четыре показателя, однако предложенные оценочные схемы являются открытыми (не замкнутыми), что позволяет использовать при оценке любые другие факторы, если для них известны соответствующие критерии.

В рассмотренной схеме влияние на урожайность отдельных факторов является равнозначным относительно друг друга. Однако следует отметить, что такое взаимодействие факторов не в полной мере отражает земледельческие зоны минимума и максимума. Более полно эти законы будут учитываться, если результирующую оценку состояния посева сельскохозяйственных культур выражать через среднюю гармоническую из оценок влияния отдельных факторов. Рассмотрим это на примере проса в фазу выметывания метелки. Для этой цели воспользуемся критериями (уровнями) оптимальности отдельных агрометеорологических факторов (относительно урожайности) в фазу выметывания метелки (табл. 10.20).

Таблица 10.20

Значения отдельных факторов (показателей) при разных уровнях их оптимальности $Q(X_i)$ в фазу выметывания метелки относительно урожайности проса

Показатель X_i	Уровень оптимальности показателей $Q(X_i)$		
	1 (недостаточный или избыточный)	3 (посредственный или повышенный)	5 (оптимальный и субоптимальный)
Число растений M на 1 м^2	< 90	$90-179$ > 640	$180-640$
Доза удобрений $D_{\text{НРК}}$, кг д. в/га	< 30 > 730	$30-125$ $426-730$	$126-425$
Средняя температура в период сев—выметывание метелки $\theta_{\text{св}}$, °C	$< 14,4$ $> 21,2$	$14,4-15,2$ $20,0-21,2$	$15,2-20,0$
Гидротермический коэффициент в период сев—выметывание метелки (ГТК мм/100 °C)	$< 4,0$ $> 65,0$	$4,0-9,9$ $35,0-65,0$	$10,0-34,9$

Расчет средней гармонической оценки состояния посева можно выполнить по общеизвестной формуле

$$Q = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (Q(X_i))^{-1}}, \quad (10.39)$$

где n — число факторов, привлекаемых для расчета оценки, $Q(X_i)$ — уровень (балл) оптимальности X_i -го фактора, используемого для расчета оценки по табл. 10.20.

Так, в частности, для расчета гармонической оценки состояния проса в фазу выметывания $Q_{\text{в}}^{\text{п}}$ (балл) по четырем показателям, приведенным в табл. 10.20, формула (10.39) принимает вид

$$Q_{\text{в}}^{\text{п}} = \frac{4}{1/Q(M) + 1/Q(D_{\text{НРК}}) + 1/Q(\theta_{\text{св}}) + 1/Q(\text{ГТК})}. \quad (10.40)$$

Пример. По данным агрометеорологических наблюдений за посевом M на одном из наблюдательных участков составляет 300 раст/м^2 ($M=300$), удобрения не вносились ($D_{\text{нрк}}=0$); средняя температура воздуха в период сева — выметывание метелки $\theta_{\text{св}}=22^\circ\text{C}$, ГТК за этот период равен $20 \text{ мм/}100^\circ\text{C}$. Тогда по табл. 10.20 находим: $Q(M)=5$ баллов, $Q(D_{\text{нрк}})=1$ балл, $Q(\theta_{\text{св}})=1$ балл и $Q(\text{ГТК})=5$ баллов. Подставляя эти значения в формулу (10.40), получаем $Q_{\text{в}}^n=1,7$ балла.

На этом примере отчетливо видно проявление законов минимума и максимума, когда наибольшее отрицательное влияние на урожайность оказывают факторы, находящиеся в недостатке или избытке.

Таким же образом можно выполнить расчет оценок состояния посевов любых сельскохозяйственных культур в тот или иной период их вегетации, если известны критерии оптимальности основных жизненных факторов.

Количественная оценка состояния посевов сельскохозяйственных культур не только представляет интерес с позиций видов на урожайность и сохранность посевов, но и дает основание для активного формирования оптимальной структуры посева и создания соответствующих условий произрастания культурных растений (подсев, пересев, подкормки и т. д.).

10.4. Определение площади с различным состоянием посевов зерновых культур в хозяйстве, районе и области (крае, республике)

Расчет оценки состояния посевов в целом по хозяйству, району или области (крае, республике) осложняется из-за большой их неоднородности [137, 140]. Здесь сказываются сроки сева, почвенно-климатические и погодные условия и т. д. Исследования показали, что для надежной оценки состояния посевов в целом по хозяйству необходимо обследовать все поля, занятые сельскохозяйственной культурой, и по каждому полю рассчитать оценку состояния этой культуры. Затем можно рассчитать среднюю взвешенную оценку состояния каждой культуры в целом по хозяйству $Q_{\text{свх}}$ по формуле

$$Q_{\text{свх}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_x} S_i Q_i}{S_x}, \quad (10.41)$$

где S_x — вся площадь обследованных посевов данной культуры в хозяйстве, га; $S_x = \sum_{i=1}^{n_x} S_i$, Q_i — оценка состояния культуры на отдельных полях, ц/га, балл, или % сортового максимума; S_i — площадь этих полей, га; n_x — число обследованных в хозяйстве полей.

Для того чтобы оценить состояние посевов отдельных культур в районе необходимо обследовать все поля с посевами каждой культуры в 3—5 характерных для данного района хозяйствах. При выборе характерных для района хозяйств необходимо учитывать, что земли хозяйства должны представлять основные почвенные разности данного района, по возможности отражать экономику или какие-либо другие характерные для района признаки или условия (климатические и т. д.). Для оценки состояния посевов в масштабах области (края, республики) такие обследования должны быть в 5—8 административных районах, представляющих основные почвенно-климатические обособления рассматриваемой территории.

При невозможности такой организации целесообразно провести сплошные обследования посевов сельскохозяйственной культуры во всех хозяйствах области, на территории которых расположены метеостанции или посты, проводящие агрометеорологические наблюдения. Расчет средней взвешенной оценки в целом по области (или другой территории) можно проводить по формуле, аналогичной (10.41):

$$Q_{\text{сво}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} S_i Q_i}{S_o}, \quad (10.42)$$

где $Q_{\text{сво}}$ — средняя взвешенная оценка состояния сельскохозяйственной культуры в целом по области; S_o — вся обследованная площадь данной культуры в области; n_o — число обследованных в области полей; остальные обозначения приведены выше.

По данным обследования и расчета оценок целесообразно составить сводку (по отдельным хозяйствам, районам и в целом по области) площадей посева каждой культуры (в гектарах и процентах обследованной) с различным ее состоянием. Результаты такой сводки могут быть использованы для принятия хозяйственных решений, а также для привязки и интерпретации аэрокосмической информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программирование урожаев, разработка и применение в производстве комплекса агротехнических и других мероприятий возделывания сельскохозяйственных культур по интенсивной технологии требуют всестороннего учета закономерностей формирования продуктивности агроценоза в зависимости от его состояния, состояния и свойств среды обитания и антропогенных воздействий на агроценоз, знания количественных мер (критериев) оптимальности уровня (напряженности) ведущих агрометеорологических факторов. Принятие оптимальных технологических решений при возделывании сельскохозяйственных культур в современном растениеводстве существенным образом зависит от объективной оценки состояния посева и уровня напряженности ведущих факторов жизнедеятельности. Актуальность данной проблемы возрастает в связи с интенсификацией сельского хозяйства, в частности, в связи с разработкой и внедрением интенсивных и ресурсосберегающих технологий зерновых культур.

Вместе с тем эта проблема, несмотря на то, что ей уделяется много внимания в современной науке, еще далека от достаточно полного решения из-за целого ряда трудностей. Во-первых, состояние посева — это многосторонняя и многофакторная характеристика, включающая количественные оценки как характеристик агроценоза, так и основных факторов жизнедеятельности, существенно меняющихся во времени и пространстве. Во-вторых, значительную трудность для решения этой проблемы представляет разрозненность сведений о критериях оптимальности агрометеорологических факторов, каждого в отдельности и особенно их комплекса, вызванная различиями в методологических подходах разных исследователей. Существенную трудность в решении этой проблемы представляет сложность факторографического обеспечения определения указанных критериев, а также установления связей факторов жизнедеятельности с продуктивностью агроценоза, вызванная трудоемкостью получения необходимой информации, субъективностью и недостаточной надежностью оценок отдельных параметров.

В данной монографии представлены критерии (меры) оптимальности (относительно урожаев или другого хозяйственно полезного показателя) отдельных агрометеорологических факторов (густоты

растений и стеблей, их высоты, кустистости, элементов продуктивности колоса и структуры урожая, температуры почвы и воздуха, их сумм за различные периоды вегетационного цикла, продолжительности межфазных периодов и темпов развития растений, запасов продуктивной влаги корнеобитаемого слоя почвы, осадков и гидротермического коэффициента, осенних и весенних азотных и фосфорных внекорневых минеральных подкормок, а также доз основного допосевого внесения минеральных удобрений), полученные в результате многолетних исследований закономерностей формирования продуктивности посевов зерновых культур. На основе созданной автором открытой модели показаны способы комплексной количественной оценки состояния посевов озимой ржи, озимой и яровой пшеницы, ярового ячменя, овса, гречихи и проса в разные периоды их вегетации с позиций видов на урожайность.

Вполне понятно, что некоторые методы прогноза урожайности сельскохозяйственных культур [101, 120, 122 и др.] могут быть использованы в качестве основы метода оценки состояния посева на дату составления прогноза. Это также относится и к моделям расчета урожайности и продукционного процесса, изложенным в работах [20, 29, 31, 45, 70, 73, 82, 87, 90, 94, 112, 117 и др.]. Однако эти модели сложны и пока не нашли широкого применения в оперативной работе агрометеорологов. Представленные в данной книге методы оценки состояния посевов зерновых культур и уровня напряженности факторов жизнедеятельности достаточно просты и оперативны и, на наш взгляд, могут найти применение в сельскохозяйственном производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрометеорологические аспекты перезимовки растений. Материалы Всесоюзного междуведомственного совещания. Март, 1975. г.— Л.: Гидрометеониздат, 1977.— 232 с.
2. Агрометеорологические аспекты повышения продуктивности земледелия/Под ред. Ю. И. Чиркова.— Л.: Гидрометеониздат, 1970.— 208 с.
3. Агрометеорологические прогнозы и расчеты.— Труды ИЭМ, 1979, вып. 13(91).— 132 с.
4. Адамович А. Некоторые вопросы сортовой агротехники озимой пшеницы Мироновская 808 и Ильичевка.— Труды Латв. с.-х. акад., 1977, № 135, с. 21—28.
5. Алексеев А. М. Основные представления о водном режиме растений и его показателях.— В кн.: Водный режим сельскохозяйственных растений. М.: Наука, 1969, с. 94—112.
6. Афендулов К. П. Теория и практика программирования урожая.— Вести. с.-х. науки, 1983, № 12, с. 32—39.
7. Бальк Г. С. Действие удобрений на урожай озимой пшеницы при разной площади питания.— Вести. с.-х. науки, 1970, № 2, с. 69—72.
8. Барковская С. Т., Пермяков И. А., Покидова Л. В., Хомяков В. Н. Об оценке информативности данных агрометеорологических наблюдений.— Труды ЦВГМО, 1978, вып. 12, с. 88—92.
9. Баталов Ф. З. Сельскохозяйственная продуктивность климата для яровых культур.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 112 с.
10. Бердник А. А. Некоторые количественные показатели состояния посевов озимых и их динамика на территории Украины.— Труды УкрНИГМИ, 1979, вып. 173.
11. Библик В. В., Михайлова Н. И. О влиянии метеорологических факторов и сроков сева на урожайность гречихи на Украине.— Труды УкрНИГМИ, 1987, вып. 223, с. 37—41.
12. Бондаренко Н. Ф., Жуковский Е. Е., Мушкин И. Г., Нерпин С. В., Полуэктов Р. А., Усков И. Б. Моделирование продуктивности агроэкосистем.— Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 264 с.
13. Борисоглебский Г. И. Агрометеорологические условия, вызывающие гибель озимых в ранневесенний период.— Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. М., 1957.— 20 с.
14. Борисоглебский Г. И. Методическое пособие по авиаобследованию озимых и ранних яровых зерновых культур.— М.: Гидрометеониздат, 1965.— 32 с.
15. Броунов П. И. Избранные сочинения. Т. 2. Сельскохозяйственная метеорология.— Л.: Гидрометеониздат, 1957.— 340 с.
16. Бышевски В., Островска Д. Проблемы растениеводства в условиях интенсивного удобрения.— Международный сельскохозяйственный журнал, 1968, № 2, с. 63—67.
17. Венцель Е. С. Теория вероятностей.— М.: Наука, 1969.— 576 с.
18. Вериги С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага.— Л.: Гидрометеониздат, 1973.— 328 с.

19. Вилькенс А. А., Дмитренко В. П. О динамике влагозапасов почвы при засухах.— Труды УкрНИГМИ, 1970, вып. 169, с. 23—29.
20. Галямин Е. П. О построении динамической модели формирования урожая агроценозов.— В кн.: Биологические системы в земледелии и лесоводстве. М.: Наука, 1974, с. 70—83.
21. Гойса Н. И., Ковтун И. И., Тимошенко Г. Л., Гаценко Р. В. Динамика формирования продуктивного стеблестоя озимой пшеницы.— Труды УкрНИГМИ, 1979, вып. 173, с. 83—95.
22. Гойса Н. И., Тимошенко Г. Л., Ковтун И. И. О взаимосвязи элементов урожайности озимой пшеницы.— Труды УкрНИГМИ, 1979, вып. 173, с. 96—100.
23. Громыко И. Д., Колпенская Н. П., Ростовцева О. С., Кулаков Е. В., Тормасов В. А. Атлас почв СССР.— М.: Колос, 1974.— 167 с.
24. Груза Г. В., Рейтенбах Р. Г. Статистика и анализ гидрометеорологических данных.— Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 216 с.
25. Демолон А. Рост и развитие культурных растений.— М.: Сельхозгиз, 1961.— 400 с.
26. Гулинова Н. В. Погода и урожай сеяных и луговых трав.— Л.: Гидрометеониздат, 1984.— 176 с.
27. Даниелов С. А., Борисова О. А. К вопросу о распознавании образов в задаче агроклиматической оценки декады.— Труды ВНИИСХМ, 1981, вып. 4, с. 58—71.
28. Державин Л. М. Агрохимические исследования почв и использование их результатов при диагностике питания растений в практике работы агрохимической службы.— Сб. научных трудов ЦИНАО. Оперативная диагностика минерального питания сельскохозяйственных культур. М.: изд. Статуправления Московской области, 1984, с. 3—13.
29. Динамическое моделирование в агрометеорологии.— Доклады участников Всесоюзной школы молодых ученых и специалистов. Тбилиси, 22—29 ноября 1980 г. Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 145 с.
30. Дмитренко В. П. Способы определения продолжительности межфазных периодов по температуре воздуха и длине дня.— Труды УкрНИГМИ, 1963, вып. 37, с. 58—71.
31. Дмитренко В. П. Математическая модель урожайности сельскохозяйственных культур.— Труды УкрНИГМИ, 1973, вып. 133, с. 3—13.
32. Дмитренко В. П. Влажность почвы как фактор формирования урожая зерновых культур.— Труды УкрНИГМИ, 1976, вып. 148, с. 41—53.
33. Дмитренко В. П., Короткова А. Я. Метод расчета урожайности озимой ржи и его проверка.— Труды УкрНИГМИ, 1977, вып. 159, с. 14—28.
34. Дмитренко В. П. Об учете неблагоприятных явлений в модели урожайности.— Труды УкрНИГМИ, 1979, вып. 173, с. 3—10.
35. Дмитренко В. П. Методическое пособие по анализу и количественной оценке агрометеорологических условий выращивания зерновых культур в отдельном районе.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 50 с.
36. Дмитренко В. П., Вилькенс А. А. Оценка влагообеспеченности посевов зерновых культур.— В кн.: Проблемы и пути развития методов наблюдений за влагообеспеченностью посевов. Докл. Всесоюзной конференции, г. Черкаassy, сентябрь 1981 г.— Л.: Гидрометеониздат, 1983, с. 33—41.
37. Дополнение к руководству по проведению визуальных авнамаршрутных агрометеорологических обследований.— М.: Гидрометеониздат, 1977.— 12 с.
38. Дояренко А. Г. Факторы жизни растений.— М.: Сельхозгиз, 1966.— 280 с.
39. Жуков В. А., Мамаева Л. Г. О выборе эталонов для распознавания метеорологических ситуаций декады.— Труды ВНИИСХМ, 1981, вып. 4, с. 72—78.
40. Задонцев А. И., Бондаренко В. И., Пикущ Г. Р., Повзик М. М. Пути повышения зимостойкости, влагообеспеченности и урожайности озимой пшеницы в степи УССР. Бюл. Всес. НИИ кукурузы, 1970, вып. 1(12), с. 13—20.

41. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.— 375 с.
42. Инструкция для производства агрометеорологических наблюдений.— Л.: Гидрометеоздат, 1939.— 112 с.
43. Инструкция по производству агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах пастбищного животноводства.— Л.: Гидрометеоздат, 1978.— 216 с.
44. Итоги науки и техники. Серия Почвоведение. Т. 5. Использование дистанционных методов в почвоведении и сельском хозяйстве.— М.: Изд. ВИНТИ, 1985.— 180 с.
45. Каюмов М. К. Справочник по программированию урожаев.— М.: Россельхозиздат, 1977.— 189 с.
46. Кейн Э. Экономическая статистика и эконометрия. Введение в количественный экономический анализ. Вып. 2.— М.: Статистика, 1977.— 230 с.
47. Кельчевская Л. С. Методы обработки наблюдений в агрометеорологии.— Л.: Гидрометеоздат, 1971.— 215 с.
48. Кельчевская Л. С. и др. Атлас запасов продуктивной влаги в почве под озимыми зерновыми культурами на Европейской части СССР.— М.: Главное управление геодезии и картографии при СМ СССР, 1983.— 23 л.
49. Клещенко А. Д. Дистанционные методы измерения агрометеорологических элементов.— В кн.: Агрометеорология — Нечерноземью.— Л.: Гидрометеоздат, 1978, с. 101—106.
50. Клещенко А. Д., Емельянова Л. Н. Оценка состояния посевов зерновых культур по данным аэрофотометрических обследований.— Труды ИЭМ, 1979, вып. 13(91), с. 90—94.
51. Кондратьев К. Я., Федченко П. П. Обзорная информация. Вып. 1. Применение дистанционных методов для оценки состояния сельскохозяйственных культур.— Обнинск: изд. ВНИИГМИ—МЦД, 1982.— 53 с.
52. Константинов А. Р., Петькова В. П. Опыт анализа связи урожая озимой пшеницы с почвенно-климатическими условиями.— Труды УкрНИГМИ, 1968, вып. 72, с. 16—31.
53. Константинов А. Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы.— Л.: Гидрометеоздат, 1978.— 264 с.
54. Константинов А. Р., Зондзе Е. К., Смирнова С. И. Почвенно-климатические ресурсы и размещение зерновых культур.— Л.: Гидрометеоздат, 1981.— 279 с.
55. Коровин А. И. Роль температуры в минеральном питании растений.— Л.: Гидрометеоздат, 1972.— 284 с.
56. Короткова А. Я. Оценка влияния осадков и температуры воздуха на урожайность овса в различных зонах Украины.— Труды УкрНИГМИ, 1980, вып. 182, с. 70—73.
57. Круть В., Сулима А. Норма посева и глубина заделки семян.— Зерновые и масличные культуры, 1967, № 8, с. 22—23.
58. Кулик М. С. Погода и минеральные удобрения.— Л.: Гидрометеоздат, 1966.— 139 с.
59. Кулик М. С. Учет агрометеорологических условий и устойчивость урожайности.— Метеорология и гидрология, 1970, № 4, с. 7—9.
60. Кулытасов И. М. Экология растений.— М.: изд. МГУ, 1982.— 382 с.
61. Куперман Ф. М., Моисейчик В. А. Вызревание озимых культур.— Л.: Гидрометеоздат, 1977.
62. Куркин К. А. Системный подход к программированию продуктивности луговых биогеоценозов.— Вести. с.-х. науки, 1983, № 10(325), с. 43—50.
63. Лархер. Экология растений.— М.: Мир, 1978.— 384 с.
64. Леопольд А. Рост и развитие растений.— М.: Мир, 1968.— 494 с.
65. Левенко А. А., Матюшенко Е. Н. Зависимости элементов продуктивности и урожайности от влагозапасов.— Труды УкрНИГМИ, 1979, вып. 173, с. 101—105.
66. Лысов В. Н. Просо.— Л.: Колос, 1968.— 224 с.
67. Майсурян Н. А., Степанов В. Н., Кузнецов В. С., Лукьянюк В. И., Черномаз П. А. Растениеводство.— М.: Колос, 1965.— 372 с.

68. Максимов Н. А. Водный режим и засухоустойчивость растений.— В кн.: Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений. Т. 1. М.: изд. АН СССР, 1952.— 576 с.
69. Максимов Н. А. Краткий курс физиологии растений.— М.: Сельхозгиз, 1958.— 560 с.
70. Математические модели в агрометеорологии.— Труды ИЭМ, 1977, вып. 8(67).— 130 с.
71. Мединцев В. Весеннее отрастание озимых: экология и география.— Серновое хозяйство, 1972, № 2, с. 21—24.
72. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, вып. 2.— М.: Сельхозиздат, 1963.— 304 с.
73. Моделирование продуктивности агроэкосистем.— Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 264 с.
74. Моисейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур.— Л.: Гидрометеониздат, 1975.— 295 с.
75. Мосолов И. В., Михалев Н. Н. Влияние удобрений на зимостойкость и урожай озимых культур.— В кн.: Приемы и методы повышения зимостойкости озимых зерновых культур. М.: Колос, 1968, с. 250—258.
76. Мосолов И. В. Физиологические основы применения минеральных удобрений.— М.: Колос, 1968.— 175 с.
77. Мошков Б. С., Хованская Н. В. Влияние температуры на онтогенез и продуктивность яровых ранних пшениц.— Докл. ВАСХНИИЛ, 1981, № 10, с. 5—7.
78. Муравьев А. С. Стеблеотбор в злаковом ценозе.— Рига: Зинатне, 1973.— 72 с.
79. Наблюдения на гидрометеорологической сети СССР. Определение понятий гидрометеорологических элементов и оценка точности наблюдений.— М.: Гидрометеониздат, 1983.— 7 с.
80. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть I. Основные агрометеорологические наблюдения.— Л.: Гидрометеониздат, 1985.— 317 с. Часть II. Специализированные агрометеорологические наблюдения.— Л.: Гидрометеониздат, 1985.— 44 с.
81. Одум Ю. Основы экологии.— М.: Мир, 1975.— 740 с.
82. Палагин Э. Г. Математическое моделирование агрометеорологических условий перезимовки озимых культур.— Л.: Гидрометеониздат, 1981.— 192 с.
83. Паников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат, удобрения и урожай.— М.: Колос, 1977.— 413 с.
84. Половский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии.— Л.: Гидрометеониздат, 1967.— 242 с.
85. Пасечнюк А. Д. Фитометеорологические условия в полегшем стеблестое ячменя и биологические потери урожая.— Труды ИЭМ, 1979, вып. 12(90), с. 80—88.
86. Пасов В. М. Оценка видов на урожай ярового ячменя сорта Винер в Нечерноземной зоне Европейской территории СССР.— Труды ИЭМ, 1969, вып. 8, с. 143—149.
87. Платонов В. А., Чудновский А. Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники (АСУ ТП в земледелии).— Л.: Гидрометеониздат, 1984.— 280 с.
88. Пляхинский Н. А. Биометрия. Новосибирск: изд. СО АН СССР, 1961.— 364 с.
89. Полевой А. Н. Об оценке состояния посевов и определении фаз развития растений на больших площадях.— Труды ИЭМ, 1973, вып. 1(50), с. 112—118.
90. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур.— Л.: Гидрометеониздат, 1983.— 176 с.
91. Полуэктов Р. А., Пых Ю. А., Швытов И. А. Динамические модели экологических систем.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 288 с.
92. Пономарев Б. П. Оценка агрометеорологических условий произрастания озимой пшеницы в период формирования зерна.— Труды ЦИП, 1969, вып. 88, с. 15—20.

93. Прокудин Е. А. Изменчивость компонентов структуры урожая озимой пшеницы интенсивных сортов в зависимости от агрофона.— Труды Ставропольского НИИСХ, 1977, вып. 36, с. 57—68.
94. Просвиркина А. Г. Агрометеорологические условия и продуктивность проса.— Л.: Гидрометеониздат, 1987.
95. Прянишников Д. Н. Агрохимия.— М., Л.: Сельхозгиз, 1934.— 399 с.
96. Пузаченко Ю. Г., Мошкин А. В. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях.— В кн.: Итоги науки. Серия Медицинская география. Вып. 3. М., 1969, с. 5—74.
97. Рачкулик В. И., Ситникова М. В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова.— Л.: Гидрометеониздат, 1981.— 287 с.
98. Руководство по проведению визуальных авиамаршрутных агрометеорологических обследований.— М.: Гидрометеониздат, 1971.— 104 с.
99. Руководство по проведению наземных маршрутных агрометеорологических обследований сельскохозяйственных культур.— М.: Гидрометеониздат, 1972.— 65 с.
100. Руководство для агрометеорологических постов колхозов и совхозов.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 143 с.
101. Руководство по агрометеорологическим прогнозам. Т. 1. Зерновые культуры.— Л.: Гидрометеониздат, 1984.— 310 с.
102. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство.— М.: Наука, 1971.— 192 с.
103. Савицкий М. С. Биологические и агротехнические факторы высоких урожаев зерновых культур.— М.: Сельхозгиз, 1948.
104. Савицкий М. С. Теоретические основы формирования высоких урожаев зерновых культур.— В кн.: Белорусская с.-х. академия. Минск, 1965, с. 80—109.
105. Савицкий М. С. Структура высоких урожаев озимой пшеницы в условиях Белорусской ССР. Сб. науч. трудов Белорусской с.-х. академии, 1973, т. 103, с. 3—38.
106. Сапожникова С. А., Арзамасцева Л. В., Бринкен Д. А. Опыт оценки агроклиматических ресурсов социалистических стран Европы.— Труды НИИАК, 1970, вып. 67, с. 10—12.
107. Свисюк И. В. Погода и урожайность озимой пшеницы на Северном Кавказе и Нижнем Поволжье.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 208 с.
108. Сапожников Н. А., Корнилов М. Ф. Научные основы системы удобрений в Нечерноземной полосе.— М.: Колос, 1969.— 304 с.
109. Семевский Ф. Н., Семенов С. М. Математическое моделирование экологических процессов.— Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 280 с.
110. Синягин И. И. Площади питания растений.— М.: Россельхозиздат, 1970, с. 46—57.
111. Сиротенко О. Д. Многомерный регрессионный анализ как метод исследования связи урожая сельскохозяйственных культур с гидрометеорологическими факторами.— Метеорология и гидрология, № 12, 1969, с. 68—78.
112. Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем.— Л.: Гидрометеониздат, 1981.— 168 с.
113. Схалабан В. Д. О возможностях расчета урожая сельскохозяйственных культур по производственным факторам.— Вестник с.-х. науки, 1983, № 5 (320), с. 138—143.
114. Соломон С. Статистические связи между гидрологическими переменными.— В кн.: Статистические методы в гидрологии.— Л.: Гидрометеониздат, 1970, с. 18—73.
115. Сопин Н. Е. Влияние норм высева семян на урожай озимой пшеницы.— Труды Ставропольского НИИСХ, 1977, вып. 36, с. 130—138.
116. Стребков И. М. Роль погодных условий в моделях агроэкономических систем.— Вестник с.-х. науки, 1983, № 4, с. 37—46.
117. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов.— Л.: Гидрометеониздат, 1984.— 264 с.
118. Туманов И. И. Физиологические основы зимостойкости культурных растений.— М., Л.: Сельхозгиз, 1940.— 366 с.

119. Удовенко Г. В., Гончарова Э. А. Влияние экстремальных условий среды на структуру урожая сельскохозяйственных растений.—Л.: Гидрометеониздат, 1982.—144 с.
120. Уланова Е. С. Методы агрометеорологических прогнозов.—Л.: Гидрометеониздат, 1959.—280 с.
121. Уланова Е. С., Сиротенко О. Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии.—Л.: Гидрометеониздат, 1968.—200 с.
122. Уланова Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы.—Л.: Гидрометеониздат, 1975.—302 с.
123. Уорринг А и Гефнер Дж. Методы обработки экспериментальных данных.—М.: изд-во иностр. лит., 1949.—351 с.
124. Уханова О. И. Продуктивность озимой пшеницы Мироновская 808 в центральных нечерноземных областях.—Сб. научн. трудов Белорусской с.-х. академии, 1973, т. 103, с. 49—62.
125. Федоров Е. К. Погода и урожай.—Л.: Гидрометеониздат, 1973.—56 с.
126. Федосеев А. П. Агротехника и погода.—Л.: Гидрометеониздат, 1979.—240 с.
127. Хваленский Ю. А. Статистический прогноз оптимальных дат сева озимых культур.—Труды ИЭМ, 1970, вып. 18, с. 51—57.
128. Хлыновская Н. И. Агроклиматические основы сельскохозяйственного производства севера.—Л.: Гидрометеониздат, 1982.—120 с.
129. Хлястиков О. Родственности метаболических процессов, обуславливающих морозоустойчивость и урожай озимой пшеницы.—Наук. прац Укр. с. г. акад., 1971, вып. 32, с. 41—44.
130. Хомяков В. Н. Осенняя подкормка озимых (Волго-Вятская зона).—Земледелие, 1965, № 9, с. 79—80.
131. Хомяков В. Н. Значение условий осенней вегетации для повышения эффективности удобрений озимых культур.—Метеорология и гидрология, 1967, № 3, с. 85—87.
132. Хомяков В. Н. Агрометеорологическое обоснование применения осенних подкормок посевов озимой пшеницы минеральными удобрениями.—Труды ИЭМ, 1971, вып. 22, с. 117—122.
133. Хомяков В. Н. Влияние предзимнего мороза на урожай озимой пшеницы в зависимости от температуры осени и азотного питания.—Труды ИЭМ, 1975, вып. 4 (48), с. 151—158.
134. Хомяков В. Н. Об эффективности основного удобрения озимых хлебов в центральных районах Европейской территории СССР.—Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1975, вып. 24, с. 16—19.
135. Хомяков В. Н. Влияние предвесенних морозов на сохранность, развитие и урожай озимой пшеницы при разном уровне минерального питания.—Труды ИЭМ, 1976, вып. 9 (68), с. 63—69.
136. Хомяков В. Н. Минеральные осенние подкормки озимой пшеницы с учетом агрометеорологических условий и сроков посева.—В кн.: Агрометеорология — Нечерноземье.—Л.: Гидрометеониздат, 1978, с. 46—48.
137. Хомяков В. Н. Методическое пособие по определению площадей с различным состоянием посевов зерновых культур в различные периоды вегетации (по основным районам возделывания).—М.: Гидрометеониздат, 1982.—21 с.
138. Хомяков В. Н. Количественная оценка сохранности озимой пшеницы к весне по данным наземных осенних обследований посевов.—Труды ВНИИСХМ, 1984, вып. 14, с. 122—128.
139. Хомяков В. Н. С классификации агрометеорологической информации.—Труды ВНИИСХМ, вып. 14, 1984, с. 153—159.
140. Хомяков В. Н., Хомякова Т. В. Методика количественной оценки состояния посевов гречихи.—М.: Гидрометеониздат, 1984.—13 с.
141. Хомяков В. Н. Количественная оценка состояния сельскохозяйственных культур при наземных обследованиях.—Агрометеорология — Продовольственной программе СССР. Докл. участников Всесоюзной конференции «Агрометеорологическое обеспечение мероприятий по выполнению Продовольственной

программы СССР». — Днепропетровск, 10—14 октября СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1986, с. 64—72.

142. Хомякова Т. В., Хомяков В. Н. Количественная оценка состояния посева гречихи и определение ее оправдываемости. — Труды ВНИИСХМ, вып. 20, 1986.

143. Хомяков В. Н., Хомякова Т. В. Интервалы недостаточного, оптимального и избыточного увлажнения почвы в разные периоды вегетации озимой пшеницы и гречихи. — Труды ВНИИСХМ, вып. 20, 1986.

144. Чирков Ю. И. Агроклиматические условия и продуктивность кукурузы. — Л.: Гидрометеоздат, 1969. — 252 с.

145. Шатилов И. С., Чудиновский А. Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая (принципы АСУ ТП в земледелии). — Л.: Гидрометеоздат, 1980. — 320 с.

146. Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. — М.: Колос, 1967. — 334 с.

147. Шнелле Ф. Фенология растений. — Л.: Гидрометеоздат, 1961.

148. Яковлев Н. Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы. — Л.: Гидрометеоздат, 1966. — 420 с.

149. Bremmer P. M. Effects of time and rate of hydrogen application on tillering. "Sharp eyespot" (*Rhizoctonia solani*) and yield in winter wheat. — J. Agric. Sci., 1969, v. 72, N 2, p. 273—280.

150. Yozlitzn et al. Einsatz hoher Stickstoffgaben zu winterweizen unter wertschneidenden Stangartbedingungen. — Albrecht-Thaer-Arch., 1970, Bd 14, N 4, S. 321—330.

151. Darwinkel A. Patterns of tillering and grain production of winter wheat at a wide range of plant densities. — Neth. J. Agr. Sci., 1978, v. 26, N 4, p. 383—398.

152. Curtis B. C., Haus T. E. Highwheat yields produced by low seeding rates and wide rows. — Crops Soils, 1967, v. 19, N 4, p. 25.

153. Harmati I., Szemez D. Effect of fertilization sowing rate and irrigation on the yield of spring wheat varieties Penjamo and Siete Cerros. — Cereal Res. Commun., 1978, v. 6, N 2, p. 175—181.

154. Sander C., Ansorge H., Fanert R. Wirkung einer Stickstoffdüngung zu Wintergetreide im Herbst in Abhängigkeit von Bogen und Witterung. — Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin, 20, 1976, 7, S. 503—508.

155. Vez A. Influence de diverses mesures culturales sur les facteurs de productivité et le rendement du froment d'automne Probus. — Schweiz. Landwirtsch. Forsch., 1969, v. 8, N 2, p. 175—184.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Агрометеорологические

наблюдения 3, 4, 6, 8, 28, 113, 133, 136, 159, 161
условия 73, 74, 81, 146

Алгоритмы сглаживания (выравнивания) 14

Гречиха 3, 4, 7, 14, 23, 25, 31, 36, 37, 52, 53, 88, 96, 106, 108, 109, 117—119,
126, 129, 130, 137, 151—154, 157, 158, 163

Закономерности формирования урожайности (продуктивности) 4, 14, 89, 109,
129, 162

Законы земледелия 9, 133, 158

Интенсивная технология 3, 4, 77, 162

Интервалы недостаточной, оптимальной и избыточной величины

высоты растений 48, 49, 52, 53

гидротермического коэффициента 128, 130

густоты (плотности) стеблей (растений) 30, 32—37, 39

дозы удобрений 137

запасов продуктивной влаги 111, 113—116, 118, 119

количества выпавших осадков 123, 124

колосков в колосе 60, 63

массы 1000 зерен 65

продолжительности периодов 74, 75, 77, 85—87, 89

температуры 96—98, 104—106, 108, 109

уровня развития растений 72

Интерпретация аэрокосмической информации 4, 161

Конкуренция 19, 22, 23, 26, 29—31

Коэффициент

вариацни 40, 41

гидротермический 91, 126—130, 153, 154, 156—159, 163

корреляции 15, 22, 25, 26, 30, 31, 38, 41, 42, 46—48, 51, 52, 55, 61, 62, 64,
70, 135, 142, 144, 147, 148, 157

морозоопасности 96

поправочный 11, 155, 156

пропорциональности 50

Критерий (уровни) оптимальности 3, 4, 13, 15, 16, 34, 73, 128, 130, 151, 157,
159, 160, 162

Кукуруза 7, 30, 48

Модель (схема) Либиха 12

Митчерлиха 12, 151

незамкнутая (открытая) 11, 13, 158

Лен-долгунец 7, 8, 48

Овес 3, 6, 7, 23, 28, 29, 34—37, 41, 46, 48—51, 56—67, 76—88, 92, 103—105, 107, 112—117, 121—130, 136—138, 144, 145, 149, 150, 163
Озимая пшеница 3, 7, 14, 17—34, 36, 38—61, 63—85, 90—103, 105—107, 110—112, 114, 117—121, 124, 128—130, 132—149, 163
Озимая рожь 3, 7, 14, 23, 24, 28, 31, 36, 37, 40, 49, 69, 79, 81, 95, 108, 109, 132, 141, 143—146, 149, 150, 163

Озимый ячмень 95

Оптимум

гармонический 16, 31, 32, 36, 39, 44, 47, 61, 63, 64, 112—118, 123, 136
физиологический 117

Отмирание («сбрасывание») побегов 20, 22—24, 70, 71

Оценка состояния посева (агроценоза) 3, 4, 8, 9, 11, 12, 14, 17, 18, 61, 63, 95, 98, 104, 129, 133, 141—143, 146, 149, 151—156, 158—161, 163

визуальная (глазомерная) 3, 6

в хозяйстве, районе, области (крае, республике) 160, 161

гармоническая 159

качественная 6

количественная 3, 7, 9, 12, 13, 50, 66, 73, 89, 126, 129, 130, 138, 140, 141, 143, 149—151, 157, 160, 162, 163

объективная 9, 13, 39, 53, 162

оптимальности 19, 40, 54, 68, 90, 110

средняя взвешенная 160, 161

субъективная 3, 6

частная 11, 144, 19, 150, 152—158

Параметры (показатели, характеристики)

отражающие эффекты антропогенных воздействий 4, 9—11

составляющих агроценоз культурных растений 9, 10, 12

состояния агроценоза (посева) 9—11, 15

среды обитания растений 4, 9—11, 15, 129, 130, 141

степени развития растений 68

увлажнения 118, 126

Период

вегетативный 88, 106, 121—123

вегетационный 68, 92, 105, 126, 138

зимнего покоя 83, 84

критический 6, 74, 75, 131, 132, 134, 147

межфазный 68, 73, 82, 84—86, 89, 90, 92, 163

репродуктивный 8, 53, 88, 106, 121—123

Подсолнечник 7, 8, 48

Предиктант 13, 15

Предиктор 13, 26, 50, 61, 79

Программирование урожайности 4, 12, 120, 162

Просо 3, 14, 25, 31, 36, 37, 52—54, 64, 65, 88, 106, 108, 124—126, 128—130, 137, 138, 151, 154—157, 159, 163

Сахарная свекла 7

Сохранность посевов (растений, стеблей) 11, 20—24, 39, 41—44, 83, 94—96, 100, 103, 110, 112, 134, 136, 141, 146—148, 160

Среднее квадратическое отклонение 17, 18

Стрессовые ситуации 4, 83, 92, 103

Уравнения регрессии 14, 15, 61

Урожайность

биологическая 58, 59

в процентах сортового максимума 17, 18, 32, 51, 57—59, 64, 67, 107

в ц/га (т/га) 17, 18, 38, 49, 52, 64, 88

средняя 18, 19, 60, 72

Шкала оценки 16, 17, 64

Яровая пшеница 3, 4, 7, 14, 19, 28, 36, 37, 48, 50, 51, 59—63, 91, 92, 104—
106, 137, 144, 145, 149, 150, 163

Ячмень яровой 3, 7, 14, 28, 36, 37, 39, 41, 43, 48—51, 59—61, 63, 85, 96, 104,
117, 124, 125, 137, 138, 144, 145, 149, 151, 163

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Основные обозначения	5
Глава 1. Количественная оценка состояния агроценоза	6
1.1. Краткая история вопроса	—
1.2. Оценка состояния агроценоза	7
1.3. Пути решения проблемы количественной оценки состояния агроценоза	9
Глава 2. Методика исследований	14
2.1. Зависимость оценок состояния посева от агрометеорологических факторов	—
2.2. Интервалы оптимальности агрометеорологических факторов и условий произрастания растений по степени их благоприятности	15
2.3. Значение оценочного балла по видам на урожайность	17
Глава 3. Оценка оптимальности плотности (густоты) агроценоза	19
3.1. Изменчивость плотности посева	—
3.2. Зависимость продуктивного стеблестоя от густоты фитоценоза	20
3.3. Зависимость высоты растений от густоты посева	26
3.4. Густота посева и урожайность	31
Глава 4. Оценка оптимальности высоты растений	40
4.1. Высота растений и ее изменчивость	—
4.2. Высота растений и их сохранность	42
4.3. Продуктивность и высота растений	44
4.4. Зависимость урожайности зерна от высоты растений	48
Глава 5. Оценка оптимальности некоторых элементов структуры урожая	54
5.1. Взаимосвязь продуктивности растений от отдельных элементов структуры урожая	—
5.2. Элементы структуры урожая	57
Глава 6. Оценка оптимальности развития растений и продолжительности межфазных периодов	68
6.1. Степень развития растений и элементы продуктивности посева озимой пшеницы	—
6.2. Эффективность применения основного удобрения в зависимости от продолжительности осени и весны	73
6.3. Эффективность осенних и весенних подкормок озимых посевов и степень развития растений осенью	78
6.4. Продуктивность посевов и продолжительность межфазных периодов	82
Глава 7. Оценка оптимальности термических условий	90
7.1. Влияние температуры на рост и развитие растений	—

7.2. Влияние низкой температуры на сохранность озимых растений и урожайность	94
7.3. Влияние положительной температуры на урожайность	103
Глава 8. Оценка оптимальности увлажнения	110
8.1. Запасы продуктивности влаги и состояние агроценоза зерновых	—
8.2. Влияние осадков на формирование урожая зерновых культур	120
8.3. О возможности использования гидротермического коэффициента при количественной оценке состояния посевов	126
Глава 9. Оценка эффективности применения основного (допосевого) удобрения	131
9.1. Некоторые особенности питания растений зерновых культур	—
9.2. Влияние удобрений на рост и густоту растений и их сохранность	133
9.3. Зависимость продуктивности посевов от дозы основного удобрения	136
Глава 10. Количественная оценка состояния агроценоза	141
10.1. Оценка состояния посевов озимых зерновых культур осенью и весной	—
10.2. Оценка состояния посевов зерновых колосовых культур на конкретных полях в фазу колошения	149
10.3. Оценка состояния крупных культур (гречиха, просо)	151
10.4. Определение площади с различным состоянием посевов зерновых культур в хозяйстве, районе и области (крае, республике)	160
Заключение	162
Список литературы	164
Предметный указатель	171

Монография

Виктор Никонорович Хомяков

**ОБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА
СОСТОЯНИЯ АГРОЦЕНОЗА**

Ответственный редактор канд. геогр. наук Н. И. Гойса

Редактор Н. С. Смирнова. Художник С. М. Малахов.
Художественный редактор В. В. Быков. Технический редактор Е. А. Ступникова.
Корректор Л. А. Сандлер
ИБ № 1999

Сдано в набор 13.04.89. Подписано в печать 06.07.89. М-17649. Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 2. Гарн. литературная. Печать высокая. Печ. л. 11,0. Кр.-отт. 11,25. Уч.-изд. л. 12,44. Тираж 1350 экз. Индекс ПРЛ-195. Заказ 113. Цена 1 р. 90 к. Гидрометеопиздат 199226. Ленинград, Беринга, 38

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6.