

М. В. НИКОЛАЕВ

СОВРЕМЕННЫЙ
КЛИМАТ
И ИЗМЕНЧИВОСТЬ
УРОЖАЕВ



М. В. НИКОЛАЕВ

СОВРЕМЕННЫЙ КЛИМАТ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОЖАЕВ

*ЗЕРНОВЫЕ РЕГИОНЫ
УМЕРЕННОГО ПОЯСА*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1994



Рецензенты: д-р геогр. наук, проф. Е. Н. Романова,
канд. с.-х. наук В. А. Корнеев

Рассматривается проблема влияния погодных факторов и климата на устойчивость урожая зерновых культур, главным образом пшеницы. Дается анализ временных изменений посевных площадей и валовых сборов в регионах зернопроизводства нашей страны, США, Канады и Западной Европы. Определяется агротехнический компонент динамики урожайности. Представлена пространственно-временная структура погодно-климатических аномалий урожая, выявлены географические закономерности изменчивости урожайности. Оценивается чувствительность вариации урожая к региональным особенностям агроклиматического режима и к изменению характеристик глобального климата. Намечены тенденции изменений variability урожая на перспективу исходя из сценариев климатических условий будущего.

Книга рассчитана на климатологов, агрометеорологов, специалистов сельского хозяйства, географов широкого профиля, преподавателей вузов и студентов.

The monograph by M. V. Nikolaev "Present climate and yield variability (grain regions of the northern temperate belt)" discusses the influence of weather factors and climate on cereal crops stability, wheat in particular. Changes of time-series of planted (harvested) areas and production in grain regions of the USSR, USA, Canada and Western Europe are analyzed. The technological component of yield per hectare dynamics is determined. The monograph gives a space-time structure of weather-climatic anomalies of yields, and reveals geographic regularities of yield variability. It also estimates sensitivity of yield variation to regional climate regime and changes of global climatic characteristics. Tendencies of changes of variability of yields are indicated, and scenarios of climatic conditions in the future are presented.

The book is meant for climatologists, agrometeorologists, agricultural experts, geographers, teachers of higher educational institutions and students.

3702030000-022 37-92
069(02)-94

ISBN 5-286-00740-6

© М. В. Николаев, 1994 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рост потребности населения планеты в обеспечении продуктами питания и в первую очередь хлебопродуктами приводит к необходимости наращивания производства продовольственных культур. Решая такую задачу путем совершенствования технологий возделывания, все же приходится считаться с воздействием погодно-климатических вариаций, являющихся основной причиной неустойчивости сборов продукции земледелия по годам.

На протяжении последнего столетия изменчивость погодных и климатических условий существенно сказывалась на земледелии, особенно в умеренных широтах, где сконцентрированы посевы наиболее ценных хлебных злаков. На фоне аномальных явлений погоды, вызывавших спорадическое возникновение недородов в конце XIX—начале XX веков, факт сильной чувствительности земледелия умеренных широт к изменениям современного климатического режима наглядно проявился в 30-е годы. Как известно, в основных районах зернопроизводства северного полушария в этот период наблюдалось заметное учащение засушливых явлений, сопровождаемое серией повсеместных неурожаев.

Характерно, что во многих чертах сходная картина прослеживается и в последние десятилетия начиная с середины 70-х гг. Можно полагать, что происходящие снижения урожайности в определенной мере вызваны проявлением антропогенного воздействия на климат, что отражается на показателях условий произрастания культур в пределах обширных территорий, специализирующихся на производстве зерновой продукции.

В основу проводимого исследования положен эмпирико-статистический анализ фактического материала — весьма эффективное средство при изучении характера влияния погодно-климатических факторов на изменчивость урожая в пространстве и времени. Главное внимание при этом сосредоточено на важнейшей в продовольственном отношении культуре — пшенице.

Динамика урожайности пшеницы, а также озимых и яровых ее форм, в производящих зонах полушария рассмотрена на уровне отдельных стран и административно-территориальных единиц крупных государств. Поскольку в послевоенный период осуществлен значительный подъем экономически обеспеченных урожаев, уделено внимание и вопросу влияния факторов интенсификации зернопроизводства на урожайность как в нашей стране, так и за рубежом.

Наряду с экономической информацией, при анализе межгодичных колебаний урожая широко использованы метеорологические и климатические данные, касающиеся режима атмосферного

увлажнения и термических условий в зернопроизводящих зонах и регионах. Кроме того, привлечены сведения о запасах продуктивной влаги в почве под посевами зерновых культур, сведения о характеристиках суховейности и комплексных агрометеорологических и агроклиматических показателях.

Закономерности пространственного распределения изменчивости урожаев анализируются исходя из принципа географической зональности и их соподчиненности распределению почвенно-климатических ресурсов. Одновременно с этим оценивается чувствительность вариации урожаев к региональным особенностям агроклиматического режима, а также к изменению основных характеристик глобального климата.

В заключительном параграфе последней главы представлены оценки возможных изменений варибельности урожаев пшеницы согласно климатическим сценариям ближайшего будущего.

Основная цель настоящей работы заключается в фокусировании географического аспекта проблемы влияния климата и погодных условий на показатели урожайности главных зерновых культур. Располагая значительным объемом исходной информации разнообразного содержания, автор на основе статистической обработки фактических данных с проведением последующих сопоставлений и обобщений попытался отразить наиболее важные стороны этого аспекта проблемы. Насколько объективно и полно ему удалось раскрыть существо круга рассматриваемых вопросов в конечном счете — судить читателю.

Автор выражает искреннюю благодарность академику РАН М. И. Будыко и чл.-корр. РАЕН И. А. Шикломанову за поддержку и обсуждение основных результатов выполненного исследования.

Автор глубоко признателен рецензентам рукописи проф. Е. Н. Романовой и В. А. Корнееву, осуществившим ее научное редактирование, а также докторам биол. наук Л. В. Семеновой и Ю. Д. Соскову за ценные советы и замечания по тексту монографии.

Автор приносит искреннюю признательность коллективу „Гидрометеониздата“, всем кто содействовал изданию этой книги и выходу ее в свет.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о влиянии современного климатического режима на устойчивость урожаев сельскохозяйственных культур является составной частью более общей проблемы — влияние климата (и его изменений) на продуктивность земледелия в целом. В самой постановке проблемы уже изначально подчеркнут ее междисциплинарный характер, требующий для всестороннего анализа данных привлечения сведений из разных областей знания.

Еще основоположником отечественной климатологии А. И. Воейковым указано на тот факт, что всякая сельскохозяйственная культура „может быть рассмотрена в зависимости от климата, почвы и хозяйственно-экономических условий“, но именно климат в конечном счете определяет видовой состав культурных растений в тех или иных природно-географических зонах [32].

В дальнейшем, рассматривая вопрос об отношениях между сельскохозяйственным растением и внешней средой, Дж. Алли в своих суждениях основывался на зависимости величины урожая и его качества как от внешних факторов, прежде всего климата и почвы, так и от природы самого растения, его отдельных сортов и форм. Вместе с тем им указана определяющая роль почвенно-климатического комплекса на формирование биологической продуктивности и на устойчивость сборов — двух главных компонентов, характеризующих конечный урожай [12].

Изучая морфологические признаки и физиологические свойства культур, вырабатывающиеся в процессе взаимодействия растения с окружающей средой, Н. И. Вавилов пришел к необходимости создания агроэкологической классификации культурной флоры. В качестве основного фактора пространственного распределения сортов и их дифференциации на экотипы при этом также рассматриваются климатические условия [27]. Как подчеркивается Н. И. Вавиловым, особенно резко это обнаруживается по отношению к биологическим и физиологическим свойствам культурных растений, поскольку климат определяет возможности для возделывания в конкретных случаях озимых или яровых их форм, полуозимых, позднеспелых или ранних сортов. Наряду с этим, учет особенностей климата имеет важное значение в селекционной работе при создании и внедрении в практику пластичных сортов, обладающих высокими адаптивными признаками (в том числе зимостойкостью, устойчивостью к засухе, полеганию, болезням и др.).

Развитие видов и форм земледелия, тесно связанных с природными условиями, одновременно предопределило необходимость проведения широких агроклиматических исследований, направ-

ленных на изучение ресурсов климата для растениеводства. В известной мере предпосылками для таких исследований явились получившие всемирное признание учение В. В. Докучаева о природных зонах и разработанная им генетическая классификация почв, выдвинутые Л. С. Бергом принципы ландшафтно-географической зональности, а также существующие классификации климатов земного шара [14, 39, 52].

Совокупность этих причин дала мощный импульс к активизированию агроклиматического направления исследований уже в довоенный период. В результате проведенных работ была составлена карта агроклиматического районирования территории СССР, опубликован мировой агроклиматический справочник [74]. Достижения агроклиматических знаний того времени нашли отражение в трудах П. И. Броунова (серия последних публикаций), Г. Т. Селянинова, Р. Э. Давида, Н. К. Софотерова, В. А. Батманова, П. И. Колоскова и др. В качестве главных критериев при агроклиматической оценке территорий выбраны показатели тепло- и влагообеспеченности посевов сельскохозяйственных культур. В частности, Г. Т. Селяниновым, для этих целей предложен комплексный показатель, представляющий отношение сумм выпадающих осадков к суммам активных температур, на основе которого определены границы видов земледелия [132].

Несколько позднее, уже в послевоенное время, П. И. Колосковым проведено агроклиматическое районирование группы стран северного полушария, а затем и отдельных частей света. Им также выполнены расчеты биоклиматического потенциала — показателя, в совокупной форме отражающего влияние термических условий, количества осадков и дефицита влажности воздуха на продуктивность окультуренных растительных сообществ (агроценозов) [59].

В последующий период ряд важнейших принципов, касающихся агроклиматического районирования и оценок климатических ресурсов сельскохозяйственных зон изложен в работах И. А. Гольцберг, Ф. Ф. Давитая, С. А. Сапожниковой, В. А. Смирнова, Ю. И. Чиркова, Д. И. Шашко, А. М. Шульгина и др. Как результат многолетнего опыта проводимых исследований, в 1972 г. издан "Агроклиматический атлас мира", насчитывающий более 80 карт [3]. Следует отметить, что по объему представленных сведений и их информативности данное издание значительно превосходит иностранные источники, как правило, содержащие материалы о территориальном распределении основных агроклиматических показателей лишь только на внутригосударственных уровнях.

Из зарубежных исследований, связанных с вопросами агроклиматического районирования территорий, заслуживают внимания работы Б. Э. Ливингстона, А. Саундерса, Т. А. Блайра, Г. Пирсона, К. В. Торнтвейта и др.

Наряду с оценками агресурсов климата, главным образом основанных на исчислении биоклиматических показателей, существует класс исследований, посвященных изучению влияния факторов погоды и климата непосредственно на такой показатель продуктивности земледелия, как урожайность сельскохозяйственных культур. К наиболее ранним исследованиям такого рода можно отнести публикации 20-х гг. В. Г. Михайловского, М. И. Семенова, В. М. Обухова, Б. С. Ястремского, в которых проводится анализ динамики урожаев в дореволюционной России и иностранных государствах преимущественно для социально-экономических целей (статистики ценообразования, снабжения и торговли). Однако, анализируя последовательность недородов, упомянутые авторы обратили внимание на довольно тесную связь между наличием резких снижений урожайности и наступлением аномальных погодных явлений, например, таких как засухи. В этой связи М. И. Семеновым также была предпринята попытка объяснения причин возникновения последних, но не увенчавшаяся успехом ввиду несостоятельности постулатов, положенных в основу выдвинутых суждений.

Затем в 30-е гг. особенности колебаний урожайности, связанные с изменением метеорологических условий, достаточно подробно проанализированы Е. А. Леонтьевой, Г. Т. Селяниновым, Р. Э. Давидом, С. П. Невским; характер возникновения засушливых явлений показан А. А. Каминским, В. О. Аскинази, П. Н. Адамовым и другими авторами. Примерно в это же время вышли в свет публикации И. Р. Таннехилла, А. Дж. Генри, Дж. К. Хойта (США) А. Дж. Коннора и Дж. В. Хопкинса (Канада), касающиеся воздействия засух на полеводство в Северной Америке.

В послевоенные десятилетия изучение влияния засух на земледелие было продолжено, но в большей мере уже в агроклиматическом аспекте. Так, в работах А. М. Алпатьева, Ф. Ф. Давитая, А. И. Руденко, А. В. Процорова приводятся закономерности географического распространения и повторяемости этих явлений в сельскохозяйственной зоне СССР, а также оценивается эффект их влияния на урожай. Географическая характеристика засух на североамериканском континенте представлена Э. Хигби при комплексной оценке ресурсов климата для сельского хозяйства США. Среди последующих публикаций, в которых рассматриваются различные критерии засушливых явлений, а также анализируется их статистическая структура, следует особо выделить работы О. А. Дроздова, Н. В. Бовы, Ю. Л. Раунера, Д. А. Педя, Н. А. Багрова, А. С. Утешева, М. Х. Байдала, А. И. Неушкина.

Достаточное внимание уделено и изучению суховея, часто сопровождающих засухи и наносящих заметный урон полеводству, размещенному в зоне неустойчивого увлажнения. Разработке критериев суховея посвящены исследования Е. А. Цубербиллер, Н. Ф. Самохвалова, О. А. Дроздова, И. Е. Бучинского, Г. Н. Витвицкого, С. И. Смирновой, П. Людольфа и др. Агроклиматическая характеристика суховея и оценка их воздействия на урожайность полевых культур представлены в совместном исследовании Л. Е. Пасечнюк и В. А. Сеникова.

Кроме исследований воздействия засух и суховея, важное значение придается оценкам агроклиматических условий перезимовки сельскохозяйственных культур. Вопросы отношения зимующих растений к низким температурам рассмотрены Н. А. Максимовым, В. А. Моисейчик; потери урожая озимых в результате повреждений в зимний период проанализированы Н. Н. Яковлевым, В. М. Личикаки, В. А. Корнеевым, Л. Хьюсом.

Оценки влияния осенних и весенних заморозков на условия произрастания разных видов культурных растений и их сортов приведены в трудах И. А. Гольдберг, А. И. Коровина и др. Рассмотрению причин и степени полегания посевов в различных климатических условиях, а также разработке агротехнических приемов, направленных на снижение потерь урожая от полегания, посвящены работы В. Ф. Дорофеева, А. П. Федосеева, А. Д. Пасечнюка.

При изучении влияния погодно-климатических факторов на формирование конечных урожаев в качестве исследуемого признака обычно рассматривают показатели абсолютной (реже условной) величины урожайности как на сети сортоиспытательных станций, так и в конкретных хозяйствах, или оперируют осредненными данными о фактических урожаях за выбранные интервалы лет. Например, такие показатели урожайности использованы при построении расчетных зависимостей А. Р. Константиновым, Е. С. Улановой, И. В. Свислюком, А. В. Мещерской, П. А. Хойгом, Л. М. Томпсоном, Х. Аракава и их применение вполне оправдано характером исследований, проводимых указанными авторами.

Между тем, достаточно часто отдается предпочтение анализу лишь той составляющей динамики урожаев, которая представляется в виде флуктуаций урожайности по годам на фоне меняющегося уровня хозяйственной урожайности, связанного с прогрессом технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Некоторые закономерности колебаний урожаев в разных климатических зонах и природно-экономических районах показаны В. М. Обуховым, Е. К. Федоровым, В. М. Пасовым, С. И. Барашем и др. В частности, В. М. Пасовым разработан синоптико-

статистический подход при оценке изменчивости урожайности полевых культур на территории нашей страны. В связи с рассмотрением вопросов, касающихся рационального размещения посевов, Е. Е. Жуковским также изложен метод количественной оценки потенциального эффекта биоклиматической компенсации урожаев в целях повышения устойчивости валовых сборов продукции полеводства [46].

Исследованиям влияния погодных и почвенно-климатических факторов на продуктивность других отраслей растениеводства (например, таких, как семеноводство, овощеводство, производство технических и кормовых культур) посвящены работы Л. Н. Бабушкина, И. Г. Грингофа, В. А. Смирновой, Е. К. Зондзе, А. Г. Новикова, О. А. Конторшиковой, А. И. Страшной, В. К. Абрамова, Ю. С. Мельника, В. Н. Дюбина и др.

Помимо изучения климатических ресурсов крупных территорий, уделяется внимание учету мезо- и микроклиматических условий при оптимизации размещения сельскохозяйственных культур как в пределах внутривнутрирегиональных агропромышленных комплексов и отдельных местностей, так и небольших участков земной поверхности с характерными формами рельефа и ландшафта. Основные принципы мезо- и микроклиматического районирования применительно к сельскохозяйственному производству изложены в ряде публикаций Е. Н. Романовой, З. А. Мищенко, П. Х. Каринга, Р. Гейгера [120].

В последние десятилетия получило распространение физико-математическое моделирование для описания процессов взаимодействия культурных растительных сообществ с окружающей средой, применение математических методов в целях комплексного оценивания современных агроклиматических ресурсов.

Теоретической основой исследований такого характера явились выдвинутые М. И. Будыко в 50-60-е годы принципы физической климатологии применительно к разработке агроклиматических показателей и созданная им теория физического механизма фотосинтеза в слое растительного покрова. Большое значение для современного понимания природы формирования продуктивности агро-фитоценозов также имеют работы М. И. Будыко, Н. А. Ефимовой, Л. И. Зубенок по изучению теплового и водного режима растений, процессов транспирации и испарения с поверхности почвы [20, 21, 42].

К настоящему моменту времени создано значительное число моделей разных классов и типов. К ним относятся модели, описывающие процессы энерго- и массообмена в системе почва — растение — атмосфера, параметризованные модели продуктивности агроэкосистем, динамические модели типа погоды — урожай, физико- и динамико-статистические модели формирования конеч-

ного урожая с учетом влияния факторов погоды и климата. Вопросы моделирования в агрометеорологии и агроклиматологии рассмотрены в работах О. Д. Сиротенко, Г. В. Менжулина, А. Р. Константинова, А. Н. Полевого, Р. А. Полуэктова, Л. Х. Тооминга, В. А. Жукова, В. П. Дмитренко, М. Монси, В. Байера, Т. Сазки, Т. М. Вигли и др. [60, 69, 111, 135].

В последние годы пристальное внимание ученых разных стран привлечено к проблеме предстоящих изменений глобального климата и возможных последствий таких изменений в сферах общественной деятельности — особенно в сельскохозяйственном производстве. В связи с этим научными учреждениями и коллективами в нашей стране и зарубежом осуществлен ряд программ исследований, направленных на изучение влияния ресурсов климата и их изменений на главные отрасли сельского хозяйства.

Под руководством М. И. Будыко в отделе исследований изменений климата и их последствий Государственного гидрологического института выполнен комплекс научных работ, целью которых явилось использование методов физико-математического моделирования и эмпирико-статистического анализа климатической и агрономической информации для получения оценок ожидаемых в будущем изменений продуктивности и устойчивости сборов сельскохозяйственных культур.

Некоторые аспекты применения динамических моделей для оценки эффекта воздействия климатических изменений на урожайность также изложены в трудах ВНИИСХМ — например, в публикациях О. Д. Сиротенко, В. Н. Павловой. Анализ повторяемости экстремумов урожайности по циркуляционным «эпохам», связанным с современными колебаниями климата, проведен Ю. И. Чирковым и Н. К. Кононовой.

Среди зарубежных исследований по проблеме влияния климата и климатической изменчивости на земледелие следует выделить работы Х. Аракавы, Р. Е. Йенсена, Дж. Макквига, К. Сакamoto, М. Парри.

Исключительная значимость данной проблемы для практического приложения в сферах хозяйственной деятельности определяет к ней интерес широкого круга специалистов. Достаточно отметить, что результаты агроклиматических исследований используются в области агрономии и агрохимии, при решении ряда задач в экономике сельскохозяйственного производства, в почвоведении и экономической географии. Все большее внимание специалистов разных отраслей привлекают и оценки погодноклиматической изменчивости урожаев сельскохозяйственных культур. Такие показатели находят применение в исследованиях по сельскохозяйственной статистике (А. И. Манелля, М. М. Юзбашев, И. П. Бойко), географии мирового сельского хозяйства (Ю. Д. Дмит-

ревский, С. Б. Лавров) в решении вопросов рационального размещения посевов определенных культур в соответствии с имеющимися земельными ресурсами (Б. Ф. Апарин и др.).

В предлагаемой читателю монографии современный климат и изменчивость урожаев рассматриваются в неразрывной причинно-следственной связи, что нашло отражение в названии исходного варианта рукописи. При этом климат выступает в качестве причины, а изменчивость урожайности — следствия воздействия погодноклиматических факторов на объемы продукции, производимой в отраслях земледелия.

Под современным климатом понимается совокупность климатических условий, сложившихся у земной поверхности на протяжении последнего столетия¹ с характерным географическим распределением температуры воздуха, полей атмосферных осадков и особенностями циркуляционных процессов в разных широтах. Примерно за такой же временной интервал представлена и динамика фактической урожайности в северном полушарии.

Хотя анализу пространственно-временных изменений урожайности отводится значительная часть текстового материала, во всех без исключения главах прослеживается определяющая роль погодных факторов и климата при формировании окончательной величины урожаев по годам.

Ввиду того что достигнутые уровни урожаев неодинаковы и зависят от комплекса экономических показателей и подбора сортов культур, отвечающих климатическим особенностям регионов, в первых главах, по сути являющихся вводными, проведен анализ динамики посевных площадей и валовых сборов, а также оценено влияние агротехнологии на прирост хозяйственной урожайности в условиях интенсивного земледелия. Достаточно краткое изложение этих аспектов тем не менее в дальнейшем обеспечивает более полное представление о характере и степени влияния климатических условий и их изменений на произрастание культурных злаков в пределах обширных сельскохозяйственных территорий.

¹ Этот отрезок времени совпадает с периодом инструментальных метеорологических наблюдений.

Глава 1. ПОСЕВНЫЕ ПЛОЩАДИ, ВАЛОВОЙ СБОР И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В РЕГИОНАХ УМЕРЕННОГО ПОЯСА

1.1. Размещение посевов

В качестве объекта для исследований воздействия погодно-климатических факторов на межгодовую изменчивость урожаев наибольший интерес представляют зерновые культуры. Такой выбор отнюдь не случаен и обусловлен следующими обстоятельствами:

- под зерновыми заняты обширные посевные площади (включая зернобобовые, они занимают более половины мировой площади пашни);

- культуры распространены в разных климатических зонах и поясах;

- используются как в виде разнообразного продовольствия для населения, так и для внутренних потребностей сельского хозяйства;

- зерновые играют решающую роль в международном торговом балансе сельскохозяйственной продукции.

Ограничивая рамки проводимых исследований и сопоставлений, выделим из группы зерновых определенную культуру, в наибольшей мере отвечающую ряду интересующих признаков: культура должна быть широко возделываемой в регионах умеренного климата, восприимчивой к изменчивости погодных условий и исключительно важной с точки зрения ценности зерна для продовольствия и кормовых ресурсов. В этой связи можно указать известные научные публикации, в которых приведены веские доводы в пользу того, что перечисленным требованиям наиболее отвечает пшеница [12, 26, 117, 150].

Целесообразность сделанного выбора подтверждается и статистическими материалами, публикуемыми в ежегодных бюллетенях Организации ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства (FAO) [183]. В сводных табл. 1.1 и 1.2, составленных на основании данных FAO, представлен мировой баланс производства зерна по континентам (частям света) и крупным государствам северного полушария. Как следует из таблиц, к настоящему моменту по объему валового сбора пшеница продолжает оставаться ведущей продовольственной культурой и составляет свыше 29 % сбора всех зерновых в мире, имея наибольшие уборочные площади — 219, 2 млн. га (1988).

Сравнение уборочных площадей и валовых сборов пшеницы в отдельных частях света и странах-зернопроизводителях умеренного пояса также свидетельствует о преобладающей ее роли среди прочих зерновых. Так, по объему сборов в Европе и Океании она занимает 1-е место, а в Азии и странах Латинской Америки находится на 2-м, уступая лишь рису и кукурузе. В нашей стране и Канаде пшеница заметно выделяется на фоне других культур и составляет в среднем около 45—47 % общего сбора зерна. В США площади, занятые под пшеницей, почти эквивалентны площадям, отведенным под кукурузу. В 1987 г. в США под пшеницу было засеяно свыше 23 млн. га, что соответствовало 35 % всех посевных площадей под зерновыми в стране.

В умеренном поясе северного полушария (исключая зарубежный азиатский регион) к главным зерновым культурам кроме пшеницы следует отнести ячмень, площадь посевов которого достигает 57,9 млн. га, кукурузу — 43,8 млн. га, овес — 21,0 млн. га, рожь — 15,2 млн. га. Валовые сборы составляют соответственно 146,3 млн. т., 269,1 млн. т., 41,3 млн. т. и 31,6 млн. т.¹ Хотя характер и степень влияния погодно-климатических условий на формирование урожаев будут рассматриваться главным образом на примере озимой и яровой пшениц, в тех случаях, когда необходимо провести сопоставление, также привлечем и динамику урожайности перечисленных выше культур.

Общая площадь посевов пшеницы в нашей стране, США, Канаде и Западной Европе — основных районах ее товарного производства в северном полушарии — к 1990 г. составляла свыше 115,2 млн. га, или почти 80 % всех площадей, занятых под культурой в зоне умеренного климата северного полушария. Из них в пределах евразийского континента сосредоточено более 75,2 млн. га, на североамериканский зерновой пояс приходится около 40 млн. га.

Первостепенная роль указанных территорий в мировом производстве товарного зерна определяет детальность информации об урожайности и других экономических показателях сельскохозяйственного производства в рассматриваемых регионах. Кроме того, для них характерен однотипный агроклиматический режим, проявляющийся в том, что главные фазы вегетации культур происходят в весенне-летний период; к тому же ожидаемые изменения в климатической системе могут в наибольшей степени отразиться именно на земледелии умеренных широт (35—65° с. ш.), что и послужило одним из критериев для выбора указанных территорий.

¹ Осредненные данные за период 1984—1988 гг.

Таблица 1.1

Производство зерна в мире и отдельных частях света (1988)

Зерновые культуры	Мир		Азия ¹		Латиноская Америка ²		Африка		Океания	
	Уборочные площади, млн. га	Валовой сбор, млн. мт	Уборочные площади, млн. га	Валовой сбор, млн. мт	Уборочные площади, млн. га	Валовой сбор, млн. мт	Уборочные площади, млн. га	Валовой сбор, млн. мт	Уборочные площади, млн. га	Валовой сбор, млн. мт
Зерновые в целом	702,1	1742,7	306,9	806,4	52,0	107,8	76,5	89,5	13,8	23,1
Пшеница	219,2	507,6	82,2	185,3	10,2	20,2	8,2	13,8	9,0	14,3
Рис	146,1	490,2	130,1	447,2	8,2	20,0	5,5	9,9	0,1	0,8
Кукуруза	127,4	399,6	38,5	111,1	27,5	53,6	20,7	31,0	0,08	0,4
Ячмень	76,0	166,8	12,7	22,6	0,9	1,2	4,8	5,5	2,3	3,7
Сорго	47,0	65,0	19,4	19,9	4,2	11,6	18,7	16,4	0,8	1,7
Овес	22,3	37,7	0,7	1,1	0,8	1,1	0,8	0,2	1,3	2,1
Просо	38,9	29,6	20,3	15,1	0,05	0,05	15,9	11,2	0,04	0,05
Рожь	16,0	32,2	0,9	1,4	0,06	0,05	0,03	0,01	0,04	0,02

¹ Зарубежный регион.² Все страны американского континента, исключая США и Канаду.

Таблица 1.2

Производство зерна в Западной Европе и некоторых государствах северного полушария (1988)*

Зерновые культуры	Западная Европа			СССР			США			Канада		
	Уборочные площади, тыс. га	Валовой сбор, тыс. мт	Урожай, т/га	Уборочные площади, тыс. га	Валовой сбор, тыс. мт	Урожай, т/га	Уборочные площади, тыс. га	Валовой сбор, тыс. мт	Урожай, т/га	Уборочные площади, тыс. га	Валовой сбор, тыс. мт	Урожай, т/га
Зерновые в целом	68 550	287 346	4,19	108 484	186 154	1,72	55 643	206 633	3,71	20 262	35 797	1,77
Пшеница	27 170	124 334	4,58	48 058	84 445	1,76	21 524	49 303	2,29	12 987	15 996	1,23
Ячмень	18 334	72 807	3,97	29 732	44 630	1,49	3090	6314	2,04	4152	10 212	2,46
Кукуруза	11 651	56 918	4,88	4431	16 030	3,62	23 573	125 193	5,31	981	5369	5,47
Овес	4093	11 816	2,89	10 946	15 287	1,40	2239	3158	1,41	1371	2993	2,18
Рожь	4367	11 614	2,66	10 115	18 517	1,83	241	373	1,55	257	268	1,04
Рис	433	2221	5,13	671	2866	4,27	1174	7253	6,18	—	—	—
Сорго	146	544	3,72	120	148	1,23	3659	14 648	4,00	—	—	—
Просо	15	25	1,70	2615	3171	1,21	—	—	—	—	—	—

* 1988 г. в сравнении с 1980—1987 гг. явился неблагоприятным для выращивания зерновых культур в США и Канаде.

На территории нашей страны посевы пшеницы возделываются в разных природно-климатических условиях, но основная их часть сконцентрирована в лесостепных и степных районах. Зона выращивания озимой пшеницы при естественном увлажнении охватывает практически всю Европейскую часть южнее 58° с. ш. Высокий процент площади под озимой пшеницей по отношению ко всем посевным площадям отмечается в Северо-Кавказском экономическом районе РФ и на Украине — свыше 35—40 %, где районированы посевы сильных пшениц. В Беларуси, прибалтийских республиках и нечерноземье Российской Федерации — районах выращивания мягких сортов пшеницы — этот показатель значительно ниже и не превышает 15—20 %.

Посевы яровых форм пшеницы доминируют в Поволжском, Уральском, Западно- и Восточно-Сибирском экономических районах, а также в Казахстане, где их концентрация достигает 40—50 %. Максимальная концентрация посевов яровой пшеницы характерна для областей Северного Казахстана, где последняя практически является монокультурой [11].

Наиболее благоприятными в агроклиматическом отношении для выращивания пшеницы следует считать регионы, в которых суммы активных температур $\sum T_{>10}^{\circ\text{C}}$ составляют 2500—3000 °C,

среднегодовые осадки $\sum_{T}^{XII} P$ превышают 450 мм и в почвенном покрове преобладают черноземы. Естественно, в пределах всей зерносеющей территории указанные характеристики заметно варьируют ($\sum T_{>10}^{\circ\text{C}}$ изменяется от 1200 до 3800 °C, среднегодовые суммы осадков колеблются от 200 до 800 мм) и далеко не всегда посевы культуры находятся в оптимальных условиях. Часть из них размещена в лесной зоне на менее плодородных, но отзывчивых к удобрениям подзолистых почвах; для посевов, возделываемых в полупустынной зоне, в той или иной мере необходим искусственный полив [1].

Важную роль в динамике производства зерна пшеницы играют особенности агроклиматического режима, проявляющиеся в изменчивости погодных условий по годам. Прежде всего это относится к областям, расположенным вблизи северной границы ареала распространения культуры, и к зоне неустойчивого (сухого) земледелия.

Окраинные северные районы значительно уступают по площади регионам неустойчивого земледелия. Посевы преобладающих здесь скороспелых сортов подвержены периодическому воздействию поздних заморозков и часто испытывают дефицит ресурсов теплообеспеченности на протяжении вегетации. Под зоной сухого

земледелия обычно понимают районы с неустойчивым характером сезонного распределения атмосферных осадков, где их годовые суммы не превышают 450 мм. В этой зоне, охватывающей главным образом Нижнее и Среднее Поволжье, юг Предуралья, Северный Казахстан, Алтайский край и часть Северо-Кавказского экономического района сосредоточено более 80 % всех посевов твердой яровой пшеницы — основного сырья для пищевой и макаронной промышленности. Излишне подробно говорить о значимости и ценности твердых сортов для продовольственного баланса страны; несомненно одно, что получение их гарантированных урожаев является главной проблемой зернового хозяйства вышеуказанных территорий.

Основные посевы пшеницы на североамериканском континенте сосредоточены в равнинной зоне США и Канады, характеризующейся континентальным климатом умеренных широт с преобладанием ландшафтов лесостепного и степного типов. По флористическому составу естественной растительности равнинную часть Северной Америки относят к зоне распространения травянистых формаций прерий, иногда выделяя при этом подобласть луговостепной растительности — Грассленд [169, 170, 212]. В почвенном покрове прерий и Грассленда преобладают плодородные черноземовидные и каштановые почвы. Последнее обстоятельство явилось главным фактором для развития в этой зоне полеводства и в конечном счете формирования здесь зернового пояса Северной Америки. Более влажную восточную его часть занимает „кукурузный” пояс, в котором размещены посевы разнообразных зерновых культур. В более сухой западной расположен „пшеничный” пояс — специализированный район по выращиванию ценных сортов озимых и яровых пшениц [168, 169].

Современные границы зоны возделывания пшеницы на территории США и Канады окончательно сформировались к 30 гг. текущего столетия [165]. В настоящее время наибольшая концентрация посевов сильной озимой пшеницы в США приходится на штаты „пшеничного” пояса: Канзас, Оклахома, Небраска, Колорадо и Техас. Яровая пшеница твердых сортов занимает обширные площади в штатах Северная и Южная Дакота, Монтана и Миннесота. С продвижением в более засушливые западные районы США занятая под пшеницей площадь резко убывает [90].

Кроме перечисленных территорий пшеница преимущественно мягких сортов возделывается наряду с другими зерновыми в „кукурузном” поясе. Мягкие сорта культуры также районированы в северо-восточных приатлантических штатах и частично в „хлопковом” поясе США. Особо выделяется изолированный район выращивания пшеницы на северо-западе США с общей площадью около 2,0 млн. га. Теплый и умеренно-влажный климат ланд-

шафтной области Палуз позволяет получать устойчивые урожаи пшеницы уже на протяжении многих десятилетий [149].

Площадь посевов пшеницы в Канаде составляет около 13,5 млн. га (1987). На долю степных провинций — Саскачевана, Альберты и Манитобы приходится более 80 % всех посевов культуры в стране. За исключением провинции Онтарио, где преобладают озимые формы пшеницы в общей посевной площади, яровая пшеница является ведущей культурой во всех зерновых районах Канады [152, 172].

Зона возделывания пшеницы в Западной Европе не представляет единого региона, что обусловлено сложностью рельефа и разнообразием природных и экономических условий в разных ее частях. Исходя из особенностей климатических условий в сельскохозяйственном отношении можно выделить группы стран Северной, Центральной и Южной Европы.

В большинстве европейских стран преобладают посевы мягкой озимой пшеницы. Твердая яровая пшеница, преимущественно североафриканских сортов, возделывается в Средиземноморье (главным образом в южных провинциях Италии). Наиболее крупные районы товарного производства пшеницы расположены на территории Франции — 4,8 млн. га, Италии — 2,9 млн. га, Испании — 2,3 млн. га. В Великобритании и ФРГ занятая под пшеницей площадь почти эквивалентна: соответственно 1,8 и 1,7 млн. га [183]. Общая площадь под пшеницей в социалистических европейских странах в 1988 г. составила 10,7 млн. га. Из них на территорию Румынии приходится около 2500 тыс. га, Польши — 2179 тыс. га, Югославии — 1506 тыс. га, Венгрии — 1290 тыс. га, ЧСФР — 1239 тыс. га, Болгарии — 1182 тыс. га, ГДР — 765 тыс. га [139, 183].

1.2. Динамика посевных и уборочных площадей

Как правило, перераспределение посевных площадей в земледелии вызвано экономическими причинами: процессом расширения площадей под определенные культуры для увеличения их валовых сборов и сокращения под другие, в данный момент менее важные в производственном отношении. Освоение новых территорий, пригодных для развития полеводства, также способствует изменению структуры посевных площадей. Так, например, сравнение картографических данных о размещении посевов пшеницы в дореволюционной России и СССР указывает на постепенное увеличение их доли в восточной части зернового клина, особенно в районах Зауралья, Сибири и Казахстана [11, 131]. Аналогич-

ным образом, сопоставление картограмм размещения посевов пшеницы в США и Канаде в 1869, 1919 и 1975 гг. дает возможность проследить продвижение посевных площадей от атлантического побережья в глубь континента с нарастанием их концентрации. На фоне тенденций такого характера в динамике посевных и уборочных площадей также прослеживаются и их межгодовые колебания, вызванные изменчивостью погодных условий на протяжении конкретных сельскохозяйственных лет, которые приводят к увеличению или сокращению конечных сборов зерна в определенном районе или производящей территории в целом.

Являясь экономическим фактором, посевные (уборочные) площади, точнее их динамика, в то же время может отражать степень развития сельскохозяйственного производства — оснащенность его техническими средствами, химизацию, производительность труда — оказывая влияние на хозяйственные показатели, или зависеть от изменения уровня последних в силу причин объективного характера — экономических спадов, резких изменений в балансе торговли продукцией полеводства того или иного государства в отдельные годы и периоды.

Информация о площадях посевов, оформленная в виде непрерывных временных рядов, использовалась преимущественно в двух аспектах:

— для получения динамики „нормированных“ показателей интенсификации зернопроизводства (т. е. агротехнических показателей, отнесенных к единице соответствующих площадей), которая затем была связана с данными о фактических урожаях функциональными зависимостями (более подробно этот вопрос будет рассмотрен в следующих разделах);

— для выявления неурожайных лет или периодов снижений урожайности, вызванных особенностями погодно-климатических ситуаций: возникновением и развитием засух, появлением суховеев, пыльных бурь и пр. Значительное сокращение засеянной площади к сроку уборки являлось надежным показателем неурожайного года или периода в том случае, если синхронно совпадало со снижением урожайности или данный год (или период) отмечался в существующих каталогах как засушливый или неблагоприятный в погодном отношении.

Обратимся к анализу временных изменений посевных и уборочных площадей под зерновыми культурами в нашей стране с конца прошлого столетия. Не останавливаясь на подробном изучении динамики посевных площадей в дореволюционный период (1883—1916 гг.) и ориентируясь в основном на исследование Ф. А. Череванина, отметим следующие ее особенности. Анализ неурожайных и урожайных лет свидетельствует о том, что годы средние и высокие по урожаю приводили к последующему рас-

ширению посевных площадей, в то время как низкоурожайные годы обычно вызвали их сокращение или приводили площади в стабильное состояние. Заметные сокращения площадей посевов пшеницы и серых хлебов за весь рассматриваемый период наблюдались в Европейской России в 1891, 1897, 1898, 1899, 1901, 1906, 1911, 1914 гг. [154].

Динамику посевных площадей в довоенный период (1917—1940 гг.) удобнее всего проследить на примере пшеницы. В силу экономических изменений, происходивших в структуре сельского хозяйства в указанные десятилетия, временные ряды посевных площадей имеют разрывы. Тем не менее довоенная статистика позволяет судить о наличии определенных тенденций развития зернопроизводства. Сведения о структуре посевных площадей под серыми хлебами и пшеницей в целом по стране и в отдельных зерновых районах свидетельствуют о заметном расширении площадей посевов по отношению к дореволюционному периоду. Особенно отчетливо прирост площадей под пшеницей выражен в пределах Украины и Нижнего Поволжья. Одновременно с этим обращает внимание наблюдаемое сокращение уборочных площадей под яровой пшеницей в Поволжском, Уральском и Казахском экономических районах на протяжении 30-х гг., обусловленное, наряду с экономическими причинами, погодными условиями, проявившимися в учащении засушливых явлений. Площадь посевов озимой пшеницы в этот период также уменьшалась в Северо-Кавказском экономическом районе — если в 1931 г. она превышала 3,1 млн. га, то к 1935 г. сократилась почти до 2,3 млн. га [128].

Особый интерес представляют материалы о площадях посевов в отдельные неблагоприятные в сельскохозяйственном отношении годы, а также за период Великой Отечественной войны. Так, например, детальность сведений о площадях хлебов, пострадавших от сильной засухи 1921 г. [141], позволяет построить схематическую карту распространения засушливых явлений в данном неблагоприятном году. Воздействие засухи можно отразить в виде изолиний процента площади погибших посевов по отношению к первоначальной посевной площади. Если изолинию 10 % гибели посевов условно считать границей распространения засушливых явлений, то нетрудно оценить, в какой мере те или иные районы подвергались засухе и определить направления ее распространения. Выделяются три очага образования засушливых явлений. Наиболее обширный и мощный расположен в сухостепной зоне Западного Казахстана. Засуха также распространилась в Среднее Поволжье, где достигла катастрофической силы, и в районы Зауралья, где действие ее заметно затухало при продвижении в более увлажненные районы. Засушливые явления локального ха-

рактера одновременно отмечались в степной Украине и на Ставрополье [88].

Обратимся к информации о посевных и уборочных площадях в годы Великой Отечественной войны [9]. Первая особенность их динамики заключается в быстром смещении площадей посевов в восточные районы и в значительном увеличении доли этих районов в общем валовом сборе зерна. Так, за период с 1940 по 1944 г. посевные площади под яровой пшеницей в Казахской ССР увеличились почти вдвое, в Поволжье и Предуралье возросли в 2—2,5 раза, в Сибири — более чем в 1,5 раза. Второй особенностью военного периода является незначительный недобор урожая с посевных площадей: приводимая разность „посевные — уборочные площади” очень мала даже в районах с климатом, достаточно неблагоприятным для выращивания зерновых. Это относится к 1941, 1942, 1944, 1945 гг. Что же касается 1943 г., есть все основания полагать о наличии засушливых явлений в районах Предуралья, Нижнего Поволжья и Казахстана в указанном году. Так, в 1943 г. сокращение площади к сроку уборки в Башкирской АССР достигло 230 тыс. га, в Оренбургской области — 378 тыс. га, в Саратовской — 360 тыс. га, в Волгоградской — 354 тыс. га, в Казахстане — 672 тыс. га. Рассчитав процент площади недобора урожая из соотношения разности посевных и уборочных площадей к первоначальной посевной площади, можно убедиться в том, что значительные потери площадей посевов к сроку уборки имели место на Юго-Востоке ЕЧС, в автономных республиках Поволжья и некоторых областях Западной Сибири. Средний процент сокращения уборочных площадей в Казахской ССР в 1943 г. достиг 12,9 % и, по всей вероятности, имел значительно большую величину в западных районах. В пределах Донецко-Приднепровского экономического района сокращения площадей могли достигать 10 % и более, в северной части Украины 5—10 %. Для более полного освещения агрометеорологических условий года можно также привлечь и данные о среднеобластной урожайности. Наблюдаемые снижения урожайности в 1943 г. характерны для зоны сухого земледелия Европейской и Азиатской частей.

Таким образом, сравнение границ распространения засушливых явлений в 1921 г., в 1930-е гг. и в 1943 г. с воздействием определенных на основе метеорологической обстановки засух 1972, 1975, 1979, 1981 гг. дает возможность еще раз убедиться в сильной зависимости основных районов зернопроизводства от изменчивости погодных условий и, в первую очередь, условий увлажненности на протяжении вегетации возделываемых культур [58, 109, 143].

Некоторые особенности динамики посевных площадей в послевоенный период также покажем на примере пшеницы. Как свидетельствуют статистические материалы, площади под пшеницей испытывали сильный прирост лишь в первые послевоенные пятилетки, что связано с введением в земледелие целинных и залежных земель. Так, за период 1950—1960 гг. только в Казахстане они увеличились почти в 4,5 раз. В Западно- и Восточно-Сибирском экономических районах прирост составил 200 %, в Уральском — 170 %, в Поволжском — 160 %. После 1960 г. намечается стабилизация площадей в большинстве регионов страны и даже их некоторое сокращение в Северо-Западном, Волго-Вятском и Прибалтийском экономических районах. На Украине и в Беларуси некоторое сокращение посевов яровой пшеницы в северных и западных районах связано с расширением площадей под другие виды культур. В настоящее время ведущими регионами по производству пшеницы продолжают оставаться Предкавказье, Поволжье, Северный Казахстан, Украина и Западная Сибирь [80, 129].

В динамике посевных и уборочных площадей под зерновыми культурами в США имеют место в основном две тенденции. Первая обусловлена интенсификацией зернопроизводства и проявляется в некотором сокращении всех площадей. Вторая — более выражена на фоне тренда посевных и уборочных площадей и заключается в наличии внутригодовых их колебаний.

Рассматривая динамику площадей под пшеницей, отметим периодические их сокращения к сроку уборки на протяжении 30-х гг. в пшеничном поясе. Особенно резко выраженные внутригодовые колебания площадей наблюдались в 1933, 1934 и 1936 гг., когда уборочные площади в сравнении с площадями посевов, например, в Северной Дакоте и Канзасе уменьшились более чем в 3 раза. Подобные внутригодовые сокращения площадей прослеживаются и в последующих десятилетиях. В центральной и северной частях пшеничного пояса они проявились в 50-е гг., в южной происходят в первой половине 50-х гг. и в 70-е гг. Особенно показательны в этом плане регионы производства пшеницы, расположенные в условиях засушливого климата. Например, потери площади к сроку уборки, превышающие 40 %, зарегистрированы в штате Нью-Мексико в 1934—1941 гг., 1950—1956 гг., 1969—1974 гг. В Колорадо, кроме середины 30-х гг. площади сокращались в 1954, 1955 и 1966 гг. Межгодовая динамика уборочных площадей в увлажненной части Равнин и приозерном районе характеризуется значительно большей стабильностью. Заметные сокращения посевных площадей здесь отмечались только в 30-е гг.

Особенности динамики уборочных площадей под пшеницей в Канаде позволяют условно разделить провинции Канады на три группы. К первой относятся приморские провинции восточной

Канады, в которых доля посевов пшеницы незначительна, а динамика площадей отличается стабильностью. Исключение представляет Квебек, где с 1971 г. проявляется некоторый прирост уборочных площадей. Во вторую входит Онтарио с преобладающими посевами озимой пшеницы. Временные изменения площадей здесь во многом аналогичны их динамике и увлажненной части Равнин и приозерном районе США. В третьей группе, куда входят степные провинции, обнаруживается тесная взаимосвязанность межгодовых изменений уборочных площадей. Так, в провинциях западной Канады до 1943 г. присутствует их некоторый спад, на протяжении 50-х гг. — стабильность, а затем прирост до 1967 г. В 1970 г. общая площадь посевов пшеницы сократилась на 1/3; в последующие годы площади расширились, превысив уровень 1967 г. Влияние погодно-климатических условий на динамику площадей особенно резко сказалось в 30-е гг., когда засухами и пыльными бурями была уничтожена значительная доля посевов пшеницы [149, 190].

В динамике площадей под пшеницей в европейских странах присутствует несколько тенденций. В традиционных районах товарного производства пшеницы наблюдается постепенное сокращение площадей посевов вследствие интенсификации отраслей земледелия. Так, например, по сравнению с началом столетия площади посевов пшеницы во Франции сократились в 1,3 раза, в Италии — в 1,7 раза, в Испании — почти в 2 раза.

Одновременно с этим произошло заметное расширение площадей под культуру в таких странах, как Дания, Швеция, Нидерланды, Великобритания, Греция (площади в среднем увеличились в 2—3 раза). Приблизительно такое же соотношение прироста посевных площадей отмечается в некоторых восточно-европейских странах. Например, в Польше они возросли в 2,5 раза, в Чехии и Словакии увеличились почти втрое. Для остальных стран Европы в целом характерно сохранение стабильности площадей под пшеницей и другими зерновыми культурами [183].

1.3. Динамика валовых сборов

Валовой сбор как показатель объема фактически собранной продукции в большей мере информативен для экономико-торговых расчетов. Тем не менее, рассматривая его как валовой урожай, произведенный за вычетом потерь при характерных хозяйственных условиях и уровне технологии, представляется полезным анализировать его изменения за выбранные временные интервалы и в агроклиматических целях. Колебания сбора, безус-

ловно, связаны с тенденциями, наблюдаемыми в динамике посевных и уборочных площадей, но в то же время являются результатом воздействия погодно-климатических условий на конечную продуктивность агроценозов.

Временные ряды изменения валовых сборов зерновых культур обнаруживают тенденцию роста, связанную с увеличением потребления зерна как в региональном, так и глобальном масштабе. По мере роста объемов собираемой продукции тем не менее отмечается и более выраженный характер межгодовых колебаний сборов относительно достигнутых уровней. В отдельных случаях недоборы зерна могут принимать катастрофический характер и приводить к опустошению обширных сельскохозяйственных территорий, иногда обрекая на голод целые народы и государства [34, 208].

Характерной особенностью динамики валовых сборов пшеницы является их неуклонный рост, на фоне которого колебания в сторону увеличения или снижения более выражены, чем, скажем, изменчивость урожайности. Последний факт объясним тем, что величина фактической урожайности есть следствие сглаживания межгодовых колебаний сбора более плавным изменением динамики посевных (уборочных) площадей.

Касаясь динамики валовых сборов пшеницы в нашей стране, нельзя не отметить наличие общей тенденции их возрастания, хотя в отдельные годы и периоды наблюдались сокращения сбора зерна. Такие сокращения имели место в первые годы существования Советского государства, в неурожайные 1920 и 1921 гг. [126], а также на протяжении 30-х гг., когда средний уровень сборов составлял менее 80 % дореволюционного. В послевоенный период валовой сбор пшеницы характеризуется значительным приростом. Только за период с 1945 по 1954 гг. объем сбора зерна пшеницы возрос более чем в 3 раза и к 1955 г. составил 47,3 млн. т. С введением в полеводство новых территорий объемы сбора яровой пшеницы увеличились на 20 % только на протяжении 2—3 лет. В дальнейшем интенсификация отраслей земледелия привела к увеличению валового сбора более чем вдвое по сравнению с уровнем 1955 г. Рекордных размеров сборы пшеницы достигали в 1966 г. — 100,5 млн. т, в 1973 г. — 109,8 млн. т., в 1978 — 120,8 млн. т. Естественно, что в указанный период существовали и заметные межгодовые колебания сбора зерна пшеницы. Так, в 1963, 1965, 1972, 1975 гг. общий сбор сокращался под влиянием неблагоприятных погодных условий, но в то же время в отдельные годы и периоды заметно превышал фоновый уровень. Соотношение доли озимой и яровой пшеницы в общем балансе зерна также изменялось во времени. До 1954 г. вклад яровых и озимых сортов в общий сбор оставался прибли-

зительно равным. С 1955 по 1960 гг. более 2/3 сбора составляла яровая пшеница. После 1961 г. положение существенно выровнилось, хотя доля яровой пшеницы была несколько выше. В последних десятилетиях процентное соотношение яровой и озимой пшеницы в общем валовом сборе приблизительно эквивалентно, но в отдельные годы заметно преобладание вклада либо озимых, либо яровых форм культуры.

Динамика сбора пшеницы в США с конца прошлого столетия характеризуется быстрым приростом в связи со значительным расширением посевов в континентальной зоне. Затем темпы прироста постепенно замедляются, и к 1930 г. эффект расширения площадей практически перестает влиять на объемы производимого зерна. Что касается межгодовых колебаний сбора, его резкие сокращения наблюдались в 30-е годы. С 1944 г. объемы производства пшеницы вновь возросли и к 1950 г. превысили почти вдвое уровень 1932—1938 гг. После непродолжительного сокращения в середине 60-х годов общий сбор зерна пшеницы продолжал увеличиваться и к 1975 г. достиг 2,0 млрд. бушелей, оставаясь в среднем на этом уровне до 1985 г. За период с 1970 по 1980 г. значительные сокращения валового сбора пшеницы в США имели место дважды: в 1974 и 1978 гг. В 1978 г. сокращение сбора вызвано заметными потерями урожая в северной части пшеничного пояса [165, 207].

В общем объеме сбора зерна пшеницы в США значительно преобладает доля озимой пшеницы. Сравнение между объемами сборов озимой и яровой пшеницы с 1910 г. указывает на все возрастающую роль озимых форм. Если в 1910 г. объемы сборов соотносились как 2:1, то в 1950 г. уже как 3:1, а к концу 70-х гг. соотношение увеличилось почти до 4:1. Тем не менее получение устойчивых сборов зерна твердых яровых пшениц, возделываемых в условиях сухого земледелия, остается одной из главных проблем зернового хозяйства Соединенных Штатов.

Особенности динамики валового сбора яровой пшеницы в Канаде покажем на примере трех провинций — Саскачевана, Альберты и Манитобы. Первая особенность состоит в том, что до середины 20-х годов сборы пшеницы имеют тенденцию к увеличению. Затем, с конца 20-х и на протяжении 30-х годов наблюдается их сокращение, обусловленное совокупным воздействием ряда причин и факторов, на рассмотрении которых мы остановимся подробнее в главе 2. С 1942 г. валовые сборы пшеницы в стране возрастают вновь. Второй особенностью динамики сборов зерна в Канаде является их выраженная изменчивость от года к году в сравнении с США, что связано с более низкой агротехнической оснащенностью земледелия. Третья заключается в сокращении сбора зерна пшеницы на 1/3 в 1970 г. как следствие

действия закона о сокращении посевных площадей. К 1978 г. сбор зерна пшеницы в степных провинциях составлял: в Саскачеване 13,6 млн. т, в Альберте 4,1 млн. т, в Манитобе 2,8 млн. т.

Темпы прироста валовых сборов пшеницы в странах Западной Европы на протяжении текущего столетия весьма различны. В период с начала века и до середины 40-х гг. для большинства европейских государств наблюдается незначительный прирост сборов зерна пшеницы и только в отдельных странах — Дании, Нидерландах, Швеции — прирост составил более 200 %. Резкая интенсификация отраслей земледелия в период после второй мировой войны привела к быстрому возрастанию объемов валовой продукции полеводства в Западной Европе, особенно в производстве зерновых культур. Так, за период с 1938 по 1988 г. объемы валовых сборов зерна пшеницы в средне-европейских странах увеличились в среднем в 2—2,5 раза, в странах северо-западной части Европы в 3—5 раз (в Великобритании почти в 7 раз). В настоящее время по объему сбора зерна пшеницы среди европейских государств выделяются: Франция — 29,7 млн. т, ФРГ — 11,9 млн. т, Великобритания — 11,6 млн. т, Румыния — 9,0 млн. т, Италия — 7,9 млн. т, Польша — 7,6 млн. т, Венгрия — 7,0 млн. т, Чехословакия — 6,6 млн. т, Испания — 6,5 млн. т (1988).

Для стран Западной Европы характерна более высокая устойчивость сборов зерна пшеницы по сравнению с зернопроизводящими зонами североамериканского континента и нашей страны. Однако в Средиземноморье колебания сборов по годам заметнее, чем в других частях западноевропейского региона.

1.4. Хозяйственная урожайность пшеницы и других зерновых культур

Урожайность как результирующий показатель процесса зернопроизводства представляет наибольший интерес для агроклиматических исследований. Пространственное изменение даже среднего уровня урожайности является следствием своеобразия почвенно-климатических условий, присущих экономико-географическим районам. Одновременно изменения урожайности отражают и временную динамику валовых сборов и посевных площадей, и в этом легко убедиться исходя из общего определения урожайности как количества продукции растениеводства с единицы засеянной (убранной) площади. Различают несколько видов (показателей) урожайности.

Потенциальная урожайность — максимальное количество продукции, которое можно получить с единицы площади при полной реализации продуктивных возможностей культуры или сорта в условиях оптимальных погодных условий. Потенциальная урожайность в какой-то мере характеризует биологическую и климатическую продуктивность агроценозов. Со стороны оптимальных хозяйственных показателей — высокого уровня агротехники и наиболее продуктивных сортов — к потенциальной урожайности может приближаться урожайность на государственных сортоиспытательных станциях и в опытных хозяйствах научно-исследовательских учреждений.

Хозяйственная урожайность, используемая для экономико-статистических расчетов, показывает фактический сбор в конкретных хозяйствах с единицы площади; при этом собранная и учтенная продукция определяется различными способами:

- в первоначально оприходованном (или чистом) весе на единицу посевной площади (в этом случае более отчетливо представляется воздействие погодных условий на формирование конечного урожая культурного растения);

- в экономических целях, в большей мере отношением валового сбора к уборочной площади (т. е. дается объем продукции с единицы обработанной в период уборки территории).

В некоторых дореволюционных работах по сельскохозяйственной статистике часто используется термин „урожай сам“, в отличие от урожайности, это относительная величина, показывающая степень воздействия внешних условий на формирование биомассы культуры путем сравнения количества внесенного и снятого зерна с единицы засеянной площади [148]. В планировании, учете и экономическом анализе используются и другие показатели урожайности (например, плановая, ожидаемая, урожайность на корню), на которых останавливаться не будем ввиду их более узкого применения в отраслевых задачах.

Остановимся на рассмотрении хозяйственной урожайности. Хозяйственный урожай являет собой продукт некоторого „среднего“ сорта культуры, который испытывает воздействие погодных условий и уровня агротехнологии в широких пространственных масштабах; при этом одновременно нивелируются особенности конкретных сортов. В известной мере было бы удобным использовать для исследований материалы сети сортоиспытательных станций, однако достаточно быстрая смена сортов исключает возможность построения длительных временных рядов урожаев даже на примере выбранного высокопластичного сорта. К тому же особенности и свойства сортов, такие, как зимостойкость, устойчивость к засухе, полеганию и пр., могут несколько исказить об-

щую картину воздействия внешних (погодных) факторов на исследуемую культуру в целом.

Сведения о фактических (хозяйственных) урожаях зерновых культур — пшеницы, кукурузы, ячменя, овса, ржи — в сельскохозяйственных регионах крупных государств — СССР, США, Канады, а также в странах Европы накоплены за достаточно продолжительные временные интервалы. В наиболее доступной форме информация об урожайности для ее анализа и расчетов помещена в статистических ежегодниках, справочниках и сводах, где представлены данные о посевных (уборочных) площадях и валовых сборах за конкретный ряд лет или непосредственно приводится исчисленная урожайность в традиционных единицах ее измерения в разных странах [97, 122, 138, 188, 189].

Для территории нашей страны в виде числовых показателей информация об урожайности существует с первой половины прошлого столетия, однако до 80-х годов XIX в. сведения носят неполный характер — во многих случаях они интерполированы (особенно для территориальных единиц) или приводятся на основе словесных описаний урожаев [75]. Благодаря организации Центрального Статистического Комитета и публикации изданий по сельскохозяйственной статистике становится возможным проследить непрерывную динамику урожаев отдельных культур в губерниях Европейской России с 1881 по 1916 г. (в Азиатской части с 1901 г.) на основе сравнения количественных выражений сбора с единицы площади в пудах с десятины [97, 122, 123, 125, 127].

С 1917 г. для ряда губерний и областей появляются разрывы в данных, связанные с изменениями экономико-территориального деления в период образования Советской России. В последующие годы сведения носят все более полный характер, но неоднократные смещения границ экономических районов и областей, а также преобладание материалов по укрепленным территориям существенно затрудняют построение однородных рядов урожайности [128, 140, 145, 146]. Несмотря на сложность учета в период Великой Отечественной войны, для тыловых и частично прифронтовых областей приводятся ценные материалы об урожаях зерновых и зернобобовых культур [9]. В послевоенный период информация об урожайности представлена в ежегодниках и справочниках, издаваемых ЦСУ с 1946 г. [4, 38, 79, 80, 129].

Попытаемся обобщить всю доступную информацию для применимости ее в дальнейших расчетах и оценках на основе предельно непрерывных рядов урожайности озимой и яровой пшеницы в территориальных единицах зерносеющей зоны. Отправным пунктом для таких построений могут служить разработки С. И. Бараша [13]. Значительно дополнив указанные материалы данными

по Европейской и Азиатской частям России и сведениями об урожайности в довоенный период и годы войны, можно получить долговременные ряды урожаев. Естественно, что в определенных случаях неизбежна некоторая интерполяция показателей, тем не менее общая закономерность изменения урожайности пшеницы согласуется с временными колебаниями сбора других культур.

Для территории нашей страны в дореволюционный период урожайность озимой пшеницы представлена в 59, а яровых сортов — в 67 губерниях. Для периода 1917 — 1944 гг. использованы ряды урожаев для областей, наиболее значимых в зерновом производстве страны в рассматриваемые годы. С 1945 г. динамика урожайности яровой пшеницы приведена для 104, а озимой для 82 территориальных единиц, расположенных в Европейской и Азиатской частях.

Информация об урожайности зерновых культур в США и Канаде содержится в серии национальных статистических изданий, публикуемых министерствами сельского хозяйства, экономики и торговли с конца прошлого столетия [165, 172, 179, 188, 189, 207]. В целом для территорий США непрерывные ряды урожайности по отдельным культурам существуют с 1866 г.

При выполнении исследований основное внимание было обращено на построение долговременных рядов урожайности пшеницы в отдельных штатах США с градацией культуры на озимые и яровые сорта. Подбор материалов об урожаях пшеницы в 33 штатах позволил получить однородные временные выборки длительностью в 94 года — с 1891 по 1984 г. В отдельности для озимой и яровой пшеницы привлечены непрерывные данные с 1934 г.: озимой — в 42, яровой — в 15 территориальных единицах.

Урожайность пшеницы в Канаде рассматривается для 9 провинций за период в 69 лет. Кроме того включены данные по западной Канаде с 1901 г., а также сведения по урожаям озимой пшеницы в Онтарио с 1910 г. и яровой пшеницы в Манитобе с 1891 г.

Сведения о фактических урожаях пшеницы в европейских странах имеют разную продолжительность. Наиболее долговременные ряды хозяйственной урожайности, охватывающие период более 100 лет, существуют для 14 европейских государств [138, 166, 183]. Неоднократное изменение территориальных границ в центре Европы, однако, исключает возможность располагать подобной информацией для оставшейся группы стран. По этой причине проведение расчетов для европейского региона осуществлялось на основе подбора однородных данных об урожайности в европейских государствах за послевоенный период, когда окончательно сложилась современная политическая карта Европы.

Касаясь в самых общих чертах динамики урожайности, которая будет подробно анализироваться в последующих главах, необходимо отметить наблюдаемый рост уровня хозяйственных урожаев во всем мире и особенно в регионах интенсивного земледелия. Как уже отмечалось, интенсификация зернопроизводства вызвала резкий подъем уровня урожайности пшеницы в период после второй мировой войны в странах Западной Европы, который по отношению к довоенному уровню составляет 250—400 %. Возрастание уровня хозяйственных урожаев пшеницы на протяжении текущего столетия в США также ощутимо, но в зависимости от свойств используемых сортов колеблется в пределах от 200 до 300 %. Рост урожайности пшеницы в Канаде и СССР происходил более замедленными темпами, что обусловлено преобладанием посевов яровых форм культуры, менее урожайных в сравнении с более продуктивными озимыми сортами.

На основе информации о ежегодных урожаях можно исчислить среднюю величину хозяйственной урожайности за интересующий нас период. Следует подчеркнуть, что в указанном показателе, наряду с достигнутым фоном агротехнологии, находит отражение воздействие почвенно-климатических условий, определяющих сортовой состав и преобладание тех или иных видов культур в сельскохозяйственных регионах.

Достигнутый в последнем десятилетии уровень хозяйственной урожайности пшеницы в районах ее товарного производства в северном полушарии существенно различен. Наиболее высокие показатели урожайности пшеницы характерны для группы стран северо-западной части Европы, где средняя величина урожаев за период с 1980 по 1989 г. составляет 6,0—7,0 т/га. Как отмечает Е. Б. Хлебутин, распространенные здесь сорта (скандинавские, английские, голландские) влаголюбивы и требовательны к удобрениям, но при высокой их продуктивности обладают низкими качественными показателями зерна [151]. Центральноевропейские пшеницы, менее требовательные к условиям агротехники, сравнительно зимостойки и засухоустойчивы; средний уровень их урожаев заметно колеблется в зависимости от условий произрастания — от 2,8 т/га (Румыния) до 5,8 т/га (ФРГ). Пшеницы Средиземноморья и Балканских стран, которых отличает повышенная требовательность к теплу, дают более низкие урожаи в сравнении со среднеевропейскими сортами. При этом наблюдается постепенное снижение уровня их урожайности по мере возрастания дефицита атмосферного увлажнения в зернопроизводящих районах южноевропейских государств. Так, за период с 1980 по 1989 г. средняя хозяйственная урожайность пшеницы в Болгарии составила 3,9 т/га, в Югославии 3,6 т/га, в Италии 2,8 т/га, в Греции 2,5 т/га, в Испании 2,2 т/га, в Португалии 1,4 т/га. Урожайность яровых пшениц влажного климата значительно ус-

тупает показателям для озимых сортов пшениц. Например, в Финляндии, средняя хозяйственная урожайность преобладающих яровых форм не превышает 2,9 т/га.

В отличие от европейских пшениц, американские пшеницы, преимущественно относящиеся к степному экотипу, отличаются более высоким качеством зерна, но достигнутый уровень их урожайности ниже, чем во многих европейских странах. В США средняя хозяйственная урожайность сильной озимой пшеницы краснозерных сортов (*Hard Red Winter*) в последнем десятилетии составляла 2,4 т/га; сильных яровых пшениц — 2,1 т/га. Твердая яровая пшеница по среднему уровню хозяйственных урожаев несколько уступает сильным пшеницам — 1,9—2,0 т/га. Мягкие формы озимой пшеницы, напоминающие по свойствам западноевропейские сорта в зависимости от условий произрастания и технологии возделывания дают урожаи от 2,0 до 3,5 т/га. Средняя хозяйственная урожайность яровой пшеницы в Канаде в настоящее время не превышает 1,8—1,9 т/га.

За период с 1980 по 1989 г. средние показатели урожайности пшеницы в СССР составили: для озимых форм 2,4 т/га, для яровых 1,1 т/га. Среднеобластная урожайность сильных озимых сортов варьирует в пределах 1,8—3,8 т/га. Сорта твердой яровой пшеницы, преимущественно возделываемые в полусухой зоне, низкоурожайны, что отражается в среднеобластных показателях 0,8—1,0 т/га.

Из других зерновых культур, распространенных в умеренном поясе северного полушария, по уровню достигнутой урожайности выделяется кукуруза. Наиболее высокие урожаи получают в США: в среднем около 7,0 т/га и в Канаде (провинция Онтарио) около 6,0 т/га. В странах Европы — Румынии, Югославии, Венгрии, Франции — средняя урожайность кукурузы колеблется от 4,0 до 6,0 т/га, в нашей стране составляет 3,0—3,5 т/га.

Урожайность ячменя в семи главных европейских странах-производителях достигает в среднем 4,0—5,0 т/га (за исключением Польши — 3,0 т/га и Испании — 2,1 т/га). В Канаде и США средний уровень урожаев культуры около 2,5—2,6 т/га, в нашей стране — главным образом ярового ячменя — 1,7 т/га.

Овес и рожь менее урожайны в сравнении с кукурузой и ячменем. Средняя хозяйственная урожайность овса, выращиваемого в странах Балтийского бассейна, составляет от 2,6 до 4,0 т/га, в США и Канаде — 2,0—2,1 т/га, в нашей стране — около 1,5 т/га. Урожайность ржи в западно-европейских странах-производителях — Польше и Германии — соответствует уровню 2,5—4,0 т/га, в США и Канаде — 1,8 т/га. В нашей стране средние урожаи озимой ржи превышают 1,6 т/га.

Глава 2. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АГРОТЕХНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДИНАМИКИ УРОЖАЕВ

2.1. Некоторые закономерности временных изменений урожайности

Сравнительный анализ временных изменений урожайности позволяет различить по крайней мере два основных компонента в динамике урожаев. Первый прослеживается в общей тенденции меняющегося уровня хозяйственной урожайности, которую следует считать трендом. Второй — в межгодовых флуктуациях на фоне тренда, вызванных воздействием внешних, главным образом погодных факторов. Длительная динамика урожаев также позволяет обнаружить присутствие третьего компонента — долгопериодных колебаний, связанных с особенностями агроклиматического режима на протяжении ряда лет [82, 83]. Колебания такого характера наиболее явно прослеживаются в континентальных районах с неустойчивым характером атмосферного увлажнения.

Очевидно, что наличие тренда в динамике урожайности обусловлено совокупным влиянием факторов различной природы, но прежде всего есть следствие воздействия экономических причин, приводящих к достаточно выраженному и в то же время плавному повышению урожайности. В известных трудах по отечественной агрономии и сельскохозяйственной статистике обращено внимание на наличие трендов при анализе фактического материала об урожаях в дореволюционной России с 1801 по 1916 г. Так, например, оценивая „эволюторную“ (трендовую) урожайность, В. М. Обухов предположил гипотезу линейного роста урожайности во времени [97]. Н. С. Четвериков, М. И. Семенов, Б. С. Ястремский, считая темпы роста агротехнически ускоренными, в качестве трендовой функции рассматривали параболу [134, 156, 163].

Применимость полиномов достаточно низкого порядка в качестве функций, определяющих форму тренда, в некоторых случаях может быть вполне оправдана. Однако ответ на вопрос о выборе гладкой функции, удачно описывающей тенденцию изменения урожайности, продолжает оставаться весьма неоднозначным. Так, в публикациях, касающихся рассмотрения динамики урожаев зерновых культур за послевоенные десятилетия, предлагается несколько вариантов аналитических временных зависимостей. По мнению большинства современных авторов, рост урожайности

за послевоенный период достаточно полно может быть описан с помощью линейных и параболических аппроксимаций временных рядов [105, 147, 155, 161]. Некоторые из авторов (С. И. Бараш, Л. А. Горбатенко), предполагая быстрый прирост урожайности, предпочитают использовать для этих целей степенную зависимость [40]. Т. Ф. Платонова, анализируя урожайность зерновых культур в Молдове, в качестве аппроксимирующей, напротив, рассматривает логарифмическую функцию [110].

Еще труднее подобрать аналитическую функцию гладкого вида для описания более продолжительной во времени динамики урожайности, которая может испытывать подъемы и спады или резкий прирост в сравнительно короткие временные интервалы. В таких случаях используются различные подходы:

- длительный период разбивается на временные интервалы с преобладанием определенного вида динамики (постепенный рост, незначительное снижение, заметный подъем) и рассчитываются „кусочные“ тренды, с помощью приближения фактических данных наиболее удобными с точки зрения выбранной гипотезы функциями от времени [216];

- подбирается одна достаточно плавная кривая, как можно точнее отражающая ход изменения процесса во времени [40, 90];

- осуществляется сглаживание исследуемого ряда при помощи скользящего осреднения за достаточно продолжительный отрезок времени [124, 204]. Данный прием, к сожалению, обладает недостатком, заключающимся во временном сдвиге сглаженного ряда и невозможностью получения оценок для краевых участков исходной выборки. При применении долгопериодного скользящего осреднения краевые эффекты начинают играть все более существенную роль. В таких случаях, например, Ю. Л. Раунер использует процедуру приближенной линейной экстраполяции тренда [119];

- применяются цифровые фильтры, выделяющие низкие частоты, тем самым получая качественное представление о наличии тренда [171].

Кроме перечисленных выше способов, укажем также на возможность описания тенденции изменений урожайности при помощи аппроксимации временных рядов кубическим сплайном или использования в целях выявления долгопериодной составляющей авторегрессионных моделей [16, 61].

Несмотря на многообразие приемов выделения детерминированной тенденции, в основу которых положен принцип сглаживания временных рядов, основная сложность продолжает заключаться в обоснованности выбора той или иной аппроксимации. Что касается применения аналитических функций, то, определенным образом, преимущество конкретной функции по отношению

к другим может быть выражено на основе сравнения дисперсий, получаемых в результате приближения исходного ряда поочередно вводимыми расчетными зависимостями. Однако часто используемый класс функций ограничивается применением наиболее удобных с точки зрения простоты алгоритма расчета зависимостей, с помощью которых не всегда удастся отразить особенности динамики урожаев, наблюдаемые в последние десятилетия. Тем не менее анализ фактических данных свидетельствует о том, что в условиях интенсивного земледелия, характеризуемого высоким агрофоном возделывания сельскохозяйственных культур, дальнейший подъем уровня хозяйственных урожаев осуществляется замедленными темпами и определяется в основном биологическими возможностями внедряемых сортов. Такого рода динамику урожайности удобно описать логистической кривой [142], выражаемой в виде функции времени как

$$Y_p(t) = \frac{a_1}{1 + a_2 e^{-a_3 t}} \quad (2.1)$$

В качестве примера на рис. 2.1 показана динамика фактических урожаев в штате Нью-Йорк (США), аппроксимированная с помощью логистической функции. Как видно из рисунка, удобство применения данной зависимости связано со свойствами логистической функции — ее значительным приращением на до-

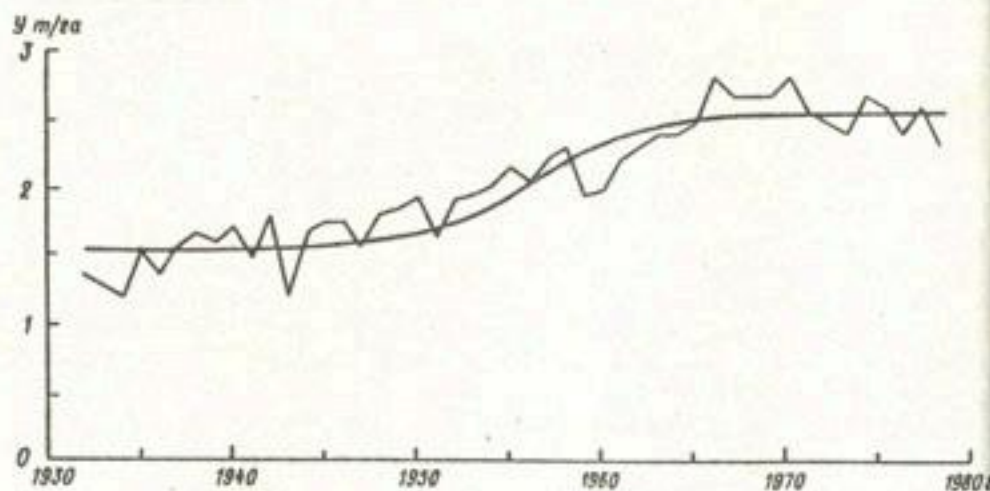


Рис. 2.1. Рост урожая пшеницы в шт. Нью-Йорк (США), аппроксимированной логистической кривой.

статочно коротком временном интервале при последующем выходе на насыщение.

В отличие от обычных приемов выделения тенденций с помощью плавных временных функций, отметим оригинальный подход О. А. Дроздова, заключающийся в определении ступенчатого экономического тренда, исходя из исключения связи урожайности с климатическим фактором — индексом суховейности. Рассчитанный таким способом тренд отражает рост уровня культуры земледелия и дает возможность оценить величину трендовой урожайности [41].

Касаясь рассмотрения общих закономерностей динамики урожаев, нельзя не отметить, что действие факторов экономики проявляется все более отчетливо во временном возрастании уровня хозяйственной урожайности. По этой причине для более четкого разграничения влияния погодно-климатических и агротехнических факторов на урожайность при выделении трендов следует учитывать и временные изменения показателей интенсификации зернопроизводства, на которых остановимся ниже.

2.2. Агротехнические показатели интенсификации зернопроизводства

Принято считать, что прирост урожайности примерно на 50 % обеспечивается за счет внесения удобрений, на 25 % зависит от продуктивности сорта и остальные 25 % достигаются в результате совершенствования приемов возделывания, включающих способы обработки почвы, уход за посевами, уборку урожая и др.

Изучению влияния различных видов удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур уделено первостепенное внимание агрономической науки. В последние десятилетия применение минеральных удобрений как наиболее эффективного средства повышения урожайности и качества продукции (для зерновых белковости) является одним из главных показателей интенсификации сельскохозяйственного производства. По этой причине в статистических изданиях, наряду с информацией о посевных площадях, валовом сборе и урожайности, приводятся данные, характеризующие прогресс и достижения в области агрохимии, выражаемые в росте уровня потребления удобрений как в целом, так и отдельных их видов [129, 139, 165, 167, 183, 188, 189].

Наряду с использованием удобрений, можно выделить и другие важные агротехнические показатели. К ним относятся: степень применения препаратов химической защиты растений, обеспеченность обрабатываемых площадей сельскохозяйственной техникой или более косвенные характеристики, такие, как потребление электроэнергии в сельском хозяйстве и пр. Между тем динамика показателей агротехнологии не представлена такими длительными рядами, как урожайность по причине того, что резкая интенсификация отраслей земледелия в большинстве стран мира наблюдается лишь с середины 40-х гг.

Хотя в национальных сельскохозяйственных справочниках отдельных государств существуют данные и за более ранний период: к примеру, динамика потребления различных видов минеральных удобрений в сельском хозяйстве США приводится с начала 20-х гг. [165, 189].

Рассматривая динамику экономических показателей сельскохозяйственного производства в СССР за послевоенный период, отметим тенденцию ускоренного роста в потреблении минеральных удобрений за последние десятилетия. Так, например, их потребление в полеводстве возросло более чем в 35 раз по сравнению с уровнем довоенных пятилеток. Значительно увеличился вывоз на поля органических удобрений, достигший к 1980 г. 95,6 млн. т [80, 129]. Особенно ошутим рост технической оснащенности земледелия. Общий парк сельскохозяйственных тракторов в сравнении с 1945 г. возрос в 13 раз, зерноуборочных комбайнов — в 5 раз. Существенно расширились поставки средств химической защиты растений, резко увеличилось потребление электроэнергии в отраслях сельского хозяйства.

Было бы не совсем корректным сопоставлять уровень хозяйственной урожайности непосредственно с динамикой показателей интенсификации. Представляется более логичным отразить их действие на единице сельскохозяйственных площадей. При этом приобретает сопоставимость таким образом определенных характеристик с самой урожайностью, которая является также „удельным“ показателем.

Применительно к отечественному зернопроизводству выделим следующие показатели агротехнологии в расчете на единицу сельскохозяйственных площадей:

- дозы минеральных удобрений, вносимых на 1 га пашни в пересчете на действующее вещество (кг/га);
- дозы препаратов химической защиты растений, используемые на 1 га сельскохозяйственных посевов в пересчете на действующее начало (кг/га);
- количество тракторов (в пересчете на 15-сильные), приходящееся на 1000 га пахотных земель (ед/1000 га);

— количество зерноуборочных комбайнов в расчете на 1000 га посевов зерновых¹ культур (ед/1000 га);

— обеспеченность сельского хозяйства электроэнергией в расчете на 1 га сельскохозяйственных угодий (тыс. кВт ч/га).

Рассматривая факторы агротехнологии, необходимо обратить внимание на особенности их воздействия на урожайность, которые следует учитывать при введении экономической информации в расчетные зависимости. О широком использовании удобрений в отраслях земледелия и высокой эффективности их действия упоминалось ранее. Поэтому очевидно, что учет влияния данного фактора явно необходим при расчетах экономически обеспеченных уровней урожайности. Что касается применения средств защиты растений, к информации об их использовании следует подходить более критически. Известно, что действие химических препаратов на окружающую среду имеет различные эффекты. Например, широкое применение пестицидов во многих странах вызвало ряд нежелательных последствий, связанных с высокой токсичностью вредных компонентов, входящих в их состав. Поэтому, рассматривая указанный показатель, необходимо иметь в виду ограниченность его применения и неоднозначность действия на урожай [47, 71].

Удельное количество тракторов — весьма существенный показатель оснащенности земледелия, поскольку от количества пропашных машин, приходящихся на единицу площади пашни, в немалой степени зависит своевременная подготовка к севу и проведение посевных работ. Подобным образом достаточное количество зерноуборочных комбайнов определяет качество уборки в наиболее оптимальные сроки [45].

Основные черты зернового хозяйства Соединенных Штатов в период после второй мировой войны проявляются в быстром росте хозяйственной урожайности при некотором общем сокращении посевных (уборочных) площадей. В качестве агротехнических факторов, определяющих уровень урожайности зерновых культур в США, целесообразно выбрать следующие:

- количество потребляемых минеральных удобрений;
- парк применяемых сельскохозяйственных машин;
- парк транспортных средств.

Заслуживает рассмотрения и такой торгово-экономический показатель, как средние рыночные цены, устанавливаемые при продаже зерна.

Конечно, перечисленные факторы и показатели не дают возможности учесть абсолютно все аспекты зернопроизводства в

¹ Исключая кукурузу, уборка урожая которой осуществляется кукурузоуборочными комбайнами.

США. Так, на окончательный урожай могут повлиять в опосредованной форме рост цен на удобрения, стоимость перевозок и хранения зерна. Тем не менее, уровень химизации и технической оснащенности земледелия, а также спрос на зерно являются главными «регуляторами» американской сельскохозяйственной экономики [130, 144].

В отличие от схемы, принятой для СССР, расчет удельных показателей технологии зернопроизводства в США осуществлялся несколько иным способом в связи с особенностями динамики отдельных показателей, на которых остановимся ниже. Ввиду отсутствия достаточной информации о ежегодных изменениях площади пашни, дозы вносимых минеральных удобрений и обеспеченность пропашной техникой исчислялись на 1 га суммарной посевной площади 57 культур, включающих сеяные травы и овощные (что приблизительно было принято за площадь пахотных земель).

Характеризуя уровень потребления удобрений в США, необходимо иметь в виду тенденцию изменения сельскохозяйственных площадей, которая сказывается на рассчитанной величине доз вносимых удобрений. Так, сокращение площадей в 1955—1965 гг. обусловило резкий прирост расчетного количества потребляемых удобрений на 1 га. В последующем, начиная с 1974 г., расширение площадей посевов вызвало общее снижение доз вносимых минеральных компонентов, поскольку уровень производства минеральных удобрений в эти годы оставался примерно таким же, что и в начале 70-х гг. Дозы минеральных удобрений в приводимых расчетах (см. рис. 2.2 а) выражались в весе туков Commercial Fertilizers в пересчете на питательное вещество (кг/га).

Период с 1945 по 1960 г. в США отмечен значительным подъемом уровня механизации сельского хозяйства. Количество зерноуборочных комбайнов в расчете на 1000 га обрабатываемых площадей резко увеличилось до максимальных значений в 1962 г. (для сельскохозяйственных тракторов и транспортных средств несколько позже — к 1969 г.). Последующее снижение показателей обеспеченности сельскохозяйственной техникой на 1 га, связанное с сокращением парков, отнюдь не означает ограничения уровня механизации в дальнейшем. Напротив, в сельском хозяйстве США стали применять все более мощные и высокопроизводительные машины [182, 197, 214]. При анализе роста технической вооруженности полеводства этот факт учитывался следующим образом. В расчеты вводилась информация о характеристиках производительности тракторов и зерноуборочных комбайнов американских фирм «Джон Дир», «Мэсси Фергюсон» и «Форд» на протяжении последних десятилетий. Для тракторов основным пока-

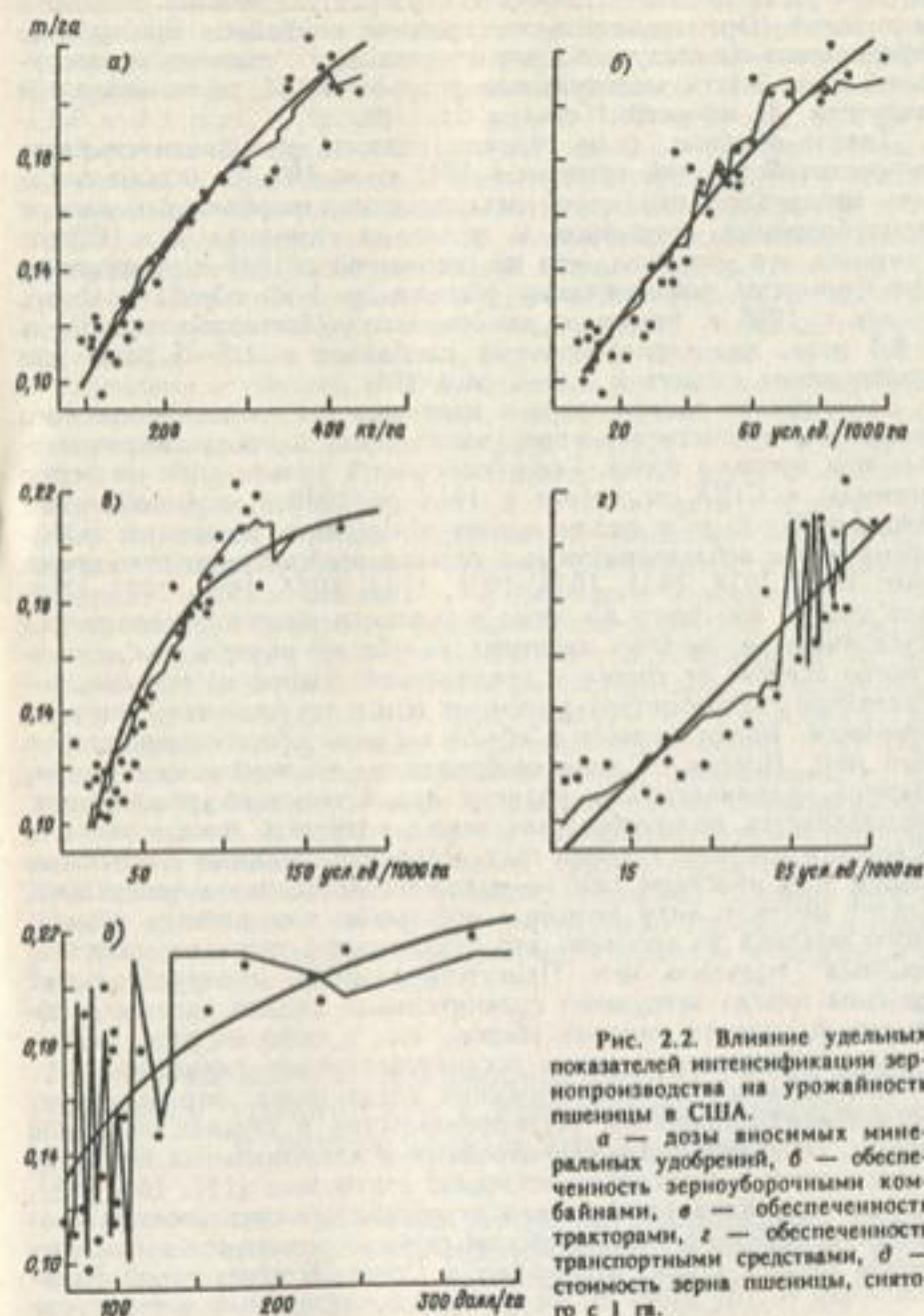


Рис. 2.2. Влияние удельных показателей интенсификации зернопроизводства на урожайность пшеницы в США.

а — дозы вносимых минеральных удобрений, б — обеспеченность зерноуборочными комбайнами, в — обеспеченность тракторами, г — обеспеченность транспортными средствами, д — стоимость зерна пшеницы, снятого с 1 га.

зателем роста производительности служило увеличение мощности двигателей. Производительность работы комбайнов при уборке определялась из следующих характеристик: 1) увеличение пропускной способности молотильного устройства; 2) роста мощности двигателя, 3) изменения объема бункера.

Таким образом, если условно принять производительность сельскохозяйственной техники в 1945 г. за 100 %, можно получить однородные данные об эквивалентных парках тракторов и зерноуборочных комбайнов (в условных единицах) до 1980 г. Учитывая это, отметим, что по сравнению с 1945 г. показатели эффективности использования техники на 1 га обрабатываемых земель к 1980 г. возросли: для сельскохозяйственных тракторов в 3,5 раза, для зерноуборочных комбайнов в 2,5—3 раза, для транспортных средств в 1,5—2 раза [84].

Заслуживает рассмотрения и динамика такого специфического показателя процесса зернопроизводства, как цены, устанавливаемые при продаже зерна. Если сопоставить уровень цен на зерно пшеницы в США за период с 1915 по 1980 г. с колебаниями валового сбора, то в целом можно обнаружить тенденцию повышения цен в неблагоприятные в сельскохозяйственном отношении годы: 1917, 1924, 1933, 1934, 1936, 1943, 1954, 1961, 1974. Следует учесть, что цены на зерно в условиях американского рынка неустойчивы и, помимо заметных колебаний внутри года, существенно зависят от спроса и предложения. Одной из причин, определяющих конъюнктуру рыночных цен в текущем году, по всей видимости, может явиться и объем валового сбора предшествующего года. Исходя из этого соображения, в качестве еще одного фактора, влияющего на уровень хозяйственной урожайности, представляется целесообразным также включить показатель цен на зерно в предшествующем году. Опираясь на средние рыночные ценами или индексом цен на сельскохозяйственную продукцию, следует иметь в виду процессы инфляции, вызывающие девальвацию доллара во времени, что отражается в периодах „скачкообразных“ подъемов цен. Присутствие таких „скачкообразных“ подъемов иногда затрудняет сравнительный анализ динамики роста цен и уровней валовых сборов, что, в свою очередь, сказывается на корреляции между рассматриваемыми факторами.

Информация об агротехнических показателях, определяющих процесс интенсификации зернопроизводства в странах Западной Европы, содержится в международных и национальных изданиях по экономике и сельскохозяйственной статистике [139, 164, 183]. При анализе влияния факторов агротехнологии на уровень урожайности зерновых в европейском регионе ограничимся рассмотрением группы стран, входивших в Совет Экономической Взаимопомощи (СЭВ) ввиду более детальной информации о структуре

посевных площадей и агротехнических показателей для их территорий. Что касается показателей химизации земледелия, то, к примеру, уровень потребления минеральных компонентов NPK на 1 га пашни к 1985 г. в сравнении с уровнем 1950 г., возрос в ГДР в 2,5 раза, в ЧСФР в 10 раз, в ПНР в 11 раз, в Венгрии в 43 раза, в Болгарии в 90 раз, в Румынии в 130 раз. Несмотря на разные темпы прироста показателей химизации на 1 гектаре, средняя величина доз вносимых минеральных удобрений значительно выше в тех странах, где исторически сложилась высокая культура земледелия, хотя посевы возделываются на менее плодородных почвах (например, в ГДР, ПНР, отчасти в ЧСФР).

Техническая вооруженность полеводства социалистических стран также сильно возросла. Достаточно сказать, что в 1985 г. в сравнении с уровнем 1960 г. номинальная мощность двигателей сельскохозяйственных тракторов, приходящаяся на 1000 га пашни, увеличилась в Венгрии в 4 раза, в ГДР, ЧСФР, Болгарии в 5 раз, в Румынии в 7 раз, в Польше в 33 раза. Существенно возросли парки зерноуборочных комбайнов, хотя темпы их прироста в разных странах неодинаковы. Наиболее низкие темпы прироста парка уборочной техники отмечаются в Болгарии и Венгрии, наиболее высокие — в Польше и Румынии.

Анализируя динамику факторов агротехнологии, мы сосредоточили внимание главным образом на тех показателях, которые количественно отражают процесс интенсификации зернопроизводства. Естественно, рассмотренные факторы не исчерпывают всех составляющих, включаемых в понятие агротехники, куда также входит комплекс приемов обработки почвы, эффективное использование севооборотов, чистых и занятых паров, способы снегозадержания и пр. К сожалению, учет совершенствования последних на основе количественных оценок трудно поддается описанию. Тем не менее качественное влияние некоторых приемов агротехники в дальнейшем учтено при выборе вида трендовых функций для описания долговременной динамики урожаев в зерновых регионах северного полушария.

2.3. Метод расчета детерминированной составляющей динамики урожайности с привлечением информации о показателях агротехнологии

Сопоставление временных изменений урожайности с динамикой выбранных показателей агротехнологии указывает на тесную зависимость роста уровня конечных сборов от развития сельскохозяйственной экономики. Так, например, корреляция между из-

менением фактических урожаев пшеницы и показателями интенсификации зернопроизводства, определяющими их общий уровень в нашей стране и США, превышает значения $r = 0,8$.

В связи с указанным фактом возникает возможность описать тенденцию изменения хозяйственных урожаев с использованием в виде аргумента временных зависимостей динамики рассмотренных выше агротехнических показателей. В качестве первоначальной и самой простой гипотезы для таких построений можно предположить, что наблюдаемый рост хозяйственной урожайности пропорционален возрастанию уровня использования факторов агротехнологии на единице соответственных площадей, и, таким образом, функциональную зависимость, связывающую динамику урожайности с показателями интенсификации, представить в линейной форме как:

$$Y_p(t) = a_0 + \sum_{j=1}^k a_j x_j(t), \quad (2.2)$$

где Y_p — расчетная (экономически обеспеченная) величина урожайности; x_j — выбранный удельный показатель интенсификации зернопроизводства; k — количество вводимых показателей; t — фактор времени.

Параметры a_0, a_j являются оценками, полученными в результате аппроксимации фактических данных исходя из критерия наименьших квадратов.

В предположении ускоренного роста урожайности на временных отрезках для расчетных зависимостей можно попытаться применить степенные, показательные или другие близкие им по свойствам аналитические функции (тем самым интерпретируя возрастание эффекта воздействия агротехнических факторов на урожайность: например, посредством увеличения концентрации питательных компонентов минеральных туков и т. д.). Следует обратить внимание, что на высоком фоне агротехнологии последующий прирост урожаев осуществляется замедленными темпами и некоторые из выбранных агротехнических показателей могут уже не оказывать такого заметного влияния на повышение урожайности как при более низком уровне их использования. Иными словами, в условиях такого приближающегося к оптимальному агрофона действие определенных факторов можно трактовать как уже „нелимитирующее“ дальнейший рост хозяйственных урожаев [167].

В этой связи Г. В. Менжулиным и С. П. Савватеевым при расчетах экономически обеспеченных уровней урожайности в качестве функциональной зависимости предложено соотношение

$$Y_p(t) = a_0 + \frac{1}{a_1 + \sum_{j=2}^k a_j / x_j(t)}. \quad (2.3)$$

Наличие мультиколлинеарности во временных изменениях агротехнических показателей, приводящей к неустойчивости получаемых оценок, к сожалению, часто затрудняет построение моделей многофакторных трендов урожайности. Хотя возможность применения многофакторных трендов отнюдь не исключается при нахождении динамики некоррелируемых между собой факторов агротехнологии.

По этой причине общая схема подбора агротехнических трендов с учетом (2.3) состояла в поочередном введении в расчеты динамики каждого из выбранных показателей интенсификации зернопроизводства. В табл. 2.1 сведены статистические характеристики выделенных таким способом трендов урожайности пшеницы в СССР и США за период с 1945 по 1980 г.

Как показывает сравнение приведенных оценок, приближения фактических данных с использованием динамики каждого из последующих факторов осуществляются менее точно. Заметно убывает коэффициент детерминации d , характеризующий долю элементов вариации исследуемого ряда, зависящую от рассматриваемого фактора, и одновременно возрастает дисперсия $\sigma_{\Delta y}^2$. Поэтому, согласно введенным в расчеты показателям агротехнологии, можно утверждать, что в целом такая характеристика, как вариация исходных рядов урожаев может определяться динамикой доз вносимых минеральных удобрений более чем на 75 %, на флуктуации, обусловленные воздействием внешних (главным образом погодных) факторов, приходится менее 25 %. Если же в качестве экономического показателя, определяющего форму тренда урожайности, использовать динамику цен на зерно пшеницы, то в последнем случае детерминированный компонент урожаев будет описан только на 35 %.

Зависимости уровня хозяйственных урожаев пшеницы в СССР от действия агротехнических факторов подробно анализируются в работе [71]. Степень влияния факторов зернопроизводства на изменение хозяйственной урожайности пшеницы в США проиллюстрируем на основе рис. 2.2. Плавные кривые, изображенные на графиках, отражают характер влияния на урожайность каждого из представленных показателей, указанных на горизонтальных осях. Ломаными линиями показаны агротехнические тренды, представленные в виде функции от значений воздействующего фактора. Расположение точек характеризует разброс фактических

Таблица 2.1
Статистические характеристики агротехнических трендов урожайности пшеницы в СССР и США

СССР				США			
Показатель интенсификации зернопроизводства, используемый для расчета трендовой урожайности	Коэффициент детерминации d	Среднеквадратическое отклонение от тренда σ (ц/га) ¹	Показатель интенсификации зернопроизводства, используемый для расчета трендовой урожайности	Коэффициент детерминации d	Среднеквадратическое отклонение от тренда σ (ц/га) ¹		
1. Доза вносимых минеральных удобрений (кг д.в./га)	0,77	1,55	1. Доза вносимых минеральных удобрений (кг д.в./га)	0,88	1,32		
2. Количество зерноуборочных комбайнов (ед./1000 га)	0,74	1,60	2. Количество зерноуборочных комбайнов (усл. ед./1000 га)	0,86	1,34		
3. Количество тракторов (в пересчете на 15 силые) (ед./1000 га)	0,67	1,66	3. Количество тракторов (усл. ед./1000 га)	0,82	1,56		
4. Количество потребляемой электроэнергии в с/х (кВт.ч/га)	0,61	1,70	4. Количество транспортных средств (усл. ед./1000 га)	0,74	1,94		
5. Доза препаратов химической защиты (кг/га)	0,58	1,84	5. Среднегрозные цены урожая предшествующего года (долл/га)	0,35	3,09		

¹ Для удобства сравнения использована неметрическая единица (центнер).

данных для каждого рассматриваемого случая. Таким образом, возвращаясь к анализу результатов, помещенных в табл. 2.1 и сравнивая графики рис. 2.2, нетрудно заключить, что в настоящее время такие показатели интенсификации как уровень применения удобрений и средств механизации оказывают определяющее влияние на изменения уровня урожайности в сравнении с другими факторами сельскохозяйственной экономики, введенными нами в расчеты.

В целом для территории СССР и США агротехнический компонент динамики урожаев зерновых культур можно рассчитать и за более длительный период. В качестве фактора, определяющего тенденцию изменения уровня урожайности, целесообразно рассматривать динамику потребления минеральных удобрений, информация о которой наиболее доступна и детальна. Графический вид агротехнических трендов на фоне межгодовых колебаний фактических урожаев представляется также в виде ломаных линий, в характере изменения которых заключены особенности динамики потребления минеральных удобрений за рассматриваемый период. Так, например, в выделенных таким способом трендах урожайности зерновых культур в США прослеживается воздействие экономической депрессии 30-х гг., выражаемое в снижении трендовых значений на указанном временном отрезке для всех исследуемых культур [2].

Таблица 2.2

Статистические характеристики трендов урожайности основных продовольственных культур в СССР и США

Зерновая культура	Коэффициент детерминации d	Среднеквадратическое отклонение $\sigma \Delta y$, т/га
СССР		
Озимая пшеница	0,84	0,24
Озимая рожь	0,81	0,13
Яровая пшеница	0,61	0,18
США		
Пшеница в целом	0,91	0,12
Кукуруза на зерно	0,88	0,24
Овес	0,85	0,25
Рожь	0,77	0,12
Ячмень	0,74	0,13

В табл. 2.2 приведены статистические характеристики агротехнических трендов урожайности основных продовольственных культур в СССР и США за период с 1920 по 1980 г. Можно

отметить, что присутствие детерминированного компонента в изменениях хозяйственной урожайности весьма выражено для всех культур, за исключением яровой пшеницы ($d = 0,61$), значительная доля вариации урожая которой связана с особенностью погодно-климатических условий основной зоны ее возделывания на территории СССР.

В абсолютной величине среднеквадратических отклонений фактических урожаев от уровня трендов ($\sigma_{\Delta y}$ т/га) заключено совокупное влияние нескольких определяющих этот статистический показатель факторов. Во-первых, величина $\sigma_{\Delta y}$ характеризуется большими значениями для высокоурожайных (продуктивных) культур: кукурузы, озимой пшеницы, овса, во-вторых, зависит от приспособительных свойств культуры — например, $\sigma_{\Delta y}$ довольно низка для ржи, наименее восприимчивой к неблагоприятному воздействию внешних условий среди прочих зерновых. И, наконец, последнее и самое главное — в значении $\sigma_{\Delta y}$ отражено влияние погодно-климатических факторов, вызывающих в целом тенденцию неустойчивости урожаев во времени.

2.4. Агротехнические тренды урожайности пшеницы в регионах интенсивного земледелия

Как уже отмечалось, широкое применение удобрений под сельскохозяйственные культуры остается одним из главных критериев повышения уровня хозяйственной урожайности. По мнению В. Д. Панникова и В. Г. Минеева, правильное применение удобрений даже в регионах с невысоким естественным плодородием почв в конечном счете формирует их новые антропогенные комплексы, на которых часто достигается максимальный эффект прироста урожайности (за счет удобрений обеспечивается до 75 % прибавки урожая).

В континентальных районах, где важную роль в производстве зерна начинают играть засухоустойчивые сорта, прирост урожая за счет внесения удобрений может обеспечиваться примерно наполовину [101].

Из всех удобрений наибольший эффект влияния на урожайность оказывают минеральные туки, содержащиеся в концентрированной форме необходимые для растений элементы питания. Обычно в севооборотах минеральные удобрения применяются в сочетании с органическими, но последние в большей степени направлены на поддержание почвенного плодородия, которое истощается в результате выноса питательных веществ из почвы с урожаем.

В настоящее время отмечается все возрастающая роль минеральных удобрений по отношению к зерновым культурам. Разработаны нормы рекомендуемых для внесения доз минеральных компонентов NPK под озимую и яровую пшеницу, кукурузу, яровую ячмень, рожь, овес и др. [95].

Одновременно со всесторонним изучением влияния удобрений на продуктивность агроценозов учитывается изменение эффективности действия входящих в них компонентов в зависимости от генетического типа почв и климатических условий [62, 65].

В частности, установлено, что наиболее отзывчивыми к минеральным удобрениям являются дерново-подзолистые, дерново-глеевые, карбонатные и серые лесные почвы, а также оподзоленные и выщелоченные черноземы, под которые обычно вносят высокие дозы удобрений. На черноземах степи и каштановых почвах, где эффективность применения туков лимитирована условиями увлажнения почвы, дозы вносимых компонентов NPK заметно ниже.

Таким образом, зональная закономерность эффективности удобрений проявляется в том, что прирост урожая от внесенного их количества убывает при продвижении из увлажненных районов в зону засушливого климата.

По мнению некоторых специалистов, климатический фактор оказывает в целом более сильное влияние на эффективность действия отдельных видов минеральных удобрений по сравнению с почвенным, и это подтверждается тем, что при орошении на черноземах и каштановых почвах эффект воздействия удобрений резко возрастает [50]. По данным А. П. Федосеева, коэффициенты корреляции между средними нормами внесения минеральных компонентов и погодно-климатическими факторами — суммами атмосферных осадков, среднемесячными температурами воздуха, показателями увлажнения почвы — составляют от 0,6 до 0,86 [101].

Определенный интерес представляют также исследования проявления эффективности действия минеральных туков в зависимости от изменчивости погодных условий по годам, особенно в сухие и избыточно влажные годы. Показано, что их применение в условиях недостаточного и избыточного увлажнения не оказывает существенного влияния на прирост урожая, а иногда даже приводит к отрицательному воздействию на развитие зерновых злаков (например, озимой пшеницы и др.). К сожалению, представленные материалы охватывают весьма короткий интервал наблюдений, что, по всей видимости, объясняется проведением подобных исследований только в последние десятилетия [33].

Для анализа влияния минеральных удобрений на прирост урожайности пшеницы в регионах интенсивного земледелия исчис-

лены ежегодные дозы вносимых компонентов NPK на 1 га пашни, необходимая информация для расчета которых представлена за продолжительные временные интервалы [129, 139, 165, 183]. Сравнение количества вносимых минеральных туков на 1 га пашни с потребностью в удобрениях посевов пшеницы указывает на возможность интерпретации действия выбранного показателя и применительно к пшенице. Пространственное распределение среднего количества вносимых на 1 га пашни минеральных компонентов также подтверждает зональный характер изменения эффективности их действия. При этом прослеживается зависимость увеличения вносимых доз на 1 га пашни при возрастании сумм атмосферных осадков в сельскохозяйственных регионах евразийского и североамериканского континентов.

При построении агротехнических трендов проанализированы зависимости прироста хозяйственной урожайности пшеницы от количества внесенных компонентов NPK в странах Западной Европы и зернопроизводящих штатах США. Для освещения европейского региона привлечена динамика урожаев и дозы вносимых минеральных удобрений на 1 га пашни за период с 1950 по 1983 г. в странах Народной Демократии: Болгарии, Венгрии, ГДР, Польше, ЧСФР, Румынии. Для североамериканского зернового пояса — аналогичные данные применительно к озимой и яровой пшенице для 35 штатов за период с 1934 по 1981 г.

Неоднородность почвенно-климатических условий и сортового состава пшениц в социалистических странах определяет многообразие видов зависимостей „минеральные удобрения — урожайность“, которые носят практически линейный характер для ГДР и ЧСФР, близки к линейному для НРБ и ВНР и описываются кривыми с насыщением на разных уровнях хозяйственной урожайности для Польши и Румынии [86]. На рис. 2.3 в качестве иллюстрации приведена зависимость изменения урожайности пшеницы от возрастания доз вносимых минеральных удобрений в Болгарии.

Особенности динамики ежегодно вносимых доз минеральных удобрений и характер их влияния на урожайность пшеницы в территориальных единицах США также позволяют выделить ряд однотипных по указанным признакам регионов. Конечно, при этом следует учитывать различия в отзывчивости к удобрениям сортов и форм пшениц.

В основном районе производства сильных и твердых пшениц — пшеничном поясе — до начала 50-х гг. отмечается низкий уровень использования минеральных туков под колосовые культуры — менее 10 кг/га (в пересчете на питательное вещество). В дальнейшем интенсификация производства зерна привела к заметному росту потребления компонентов NPK, в результате которого их

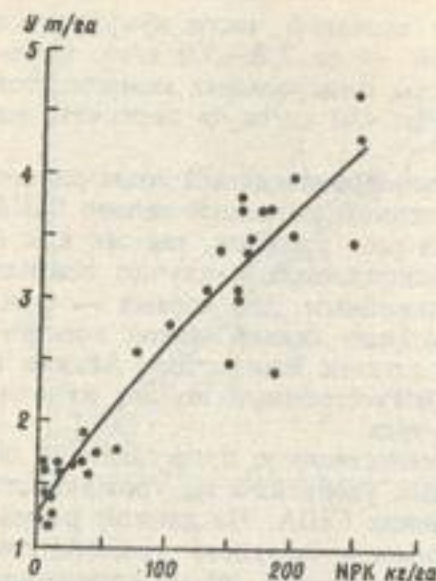


Рис. 2.3. Прирост урожайности пшеницы от доз вносимых минеральных удобрений (Болгария).

средние дозы к 1981 г. возросли в северной части Великих Равнин до 70—90 кг/га, в центральной и южной до 100—200 кг/га. Относительно невысокий уровень потребления разных видов минеральных удобрений в степных регионах США в сравнении с более увлажненной зоной объясняется как ограниченной эффективностью их действия, так и отзывчивостью к удобрениям возделываемых здесь ценных сортов пшеницы. Так например, зависимости прироста урожайности твердой яровой пшеницы от доз вносимых компонентов NPK описываются кривыми с насыщением, при этом выход на „плато“, определяющийся условиями увлажнения регионов, обеспечивается в Монтане при среднем уровне хозяйственной урожайности — 1,6 т/га, в Северной Дакоте — 1,8 т/га, в Миннесоте — около 2,0 т/га [89]. Для краснотерных сортов сильной озимой пшеницы, районированных в центральной части Великих Равнин, вид зависимостей „минеральные удобрения — урожайность“ плавно меняется от кривых с насыщением к близким к линейным при увеличении среднегодовых сумм осадков от 400 до 600 мм. Одновременно общий рост урожайности выражен тем заметнее, чем интенсивнее применяются минеральные удобрения. За период с 1971 по 1981 г. средняя урожайность сильных озимых пшениц составила в Техасе 1,5 т/га, в Оклахоме 1,8 т/га, в Канзасе 2,1 т/га, в Небраске 2,4 т/га.

В более увлажненной зоне Равнин — Грассленде, средняя урожайность преобладающих мягких сортов пшеницы достигает

еще более высоких показателей: в западной части кукурузного пояса — 2,5–2,7 т/га, в восточной — до 2,8–3,0 т/га. Соответственно дозы вносимых под посевы минеральных компонентов NPK также увеличиваются от 300 до 450 кг/га (в пересчете на питательное вещество).

В изолированном от основной зернопроизводящей зоны районе выращивания белозерных сортов пшеницы на северо-западе США влияние минеральных удобрений на рост урожаев, так же как и для штатов пшеничного пояса, описывается в случае озимых форм зависимостями, близкими к линейным, для яровых — функциями с насыщением. Для нелинейных связей выход хозяйственной урожайности на „плато” в штатах Вашингтон, Айдахо и Орегон (где частично применяют искусственный полив) отмечается при уровне урожаев 2,5–2,7 т/га.

В какой-то мере рис. 2.4 дает качественное представление об общей картине влияния минеральных удобрений на урожайность пшеницы в зернопроизводящих районах США. На данном рисунке для сравнения показаны зависимости прироста урожайности твердой яровой (а) и мягкой озимой пшеницы (б) от количества потребляемых компонентов NPK. В характере представленных связей находит отражение как разная степень отзывчивости кон-

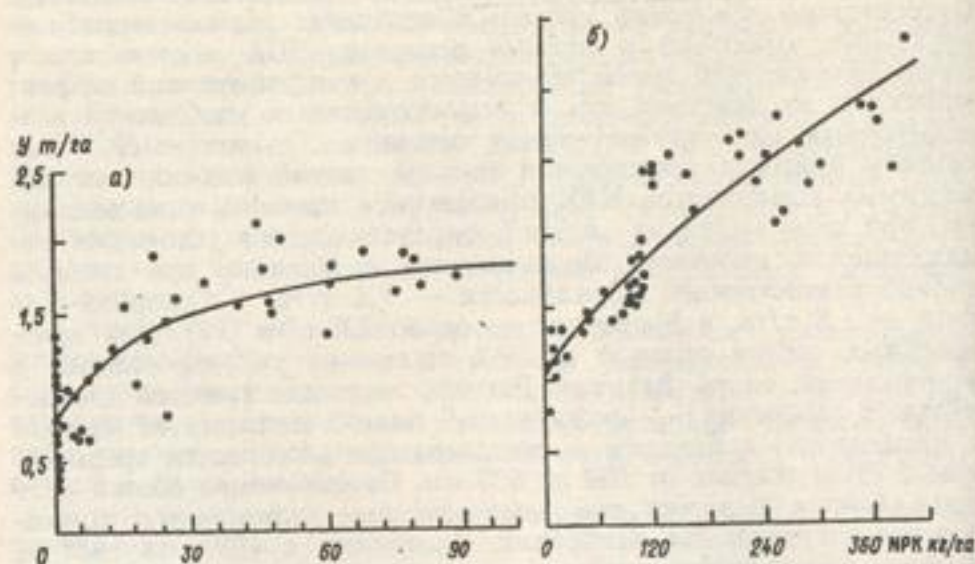


Рис. 2.4. Зависимости прироста урожайности от доз вносимых компонент NPK в регионах США.
а — твердая яровая пшеница (шт. Северная Дакота), б — мягкая озимая пшеница (шт. Висконсин).

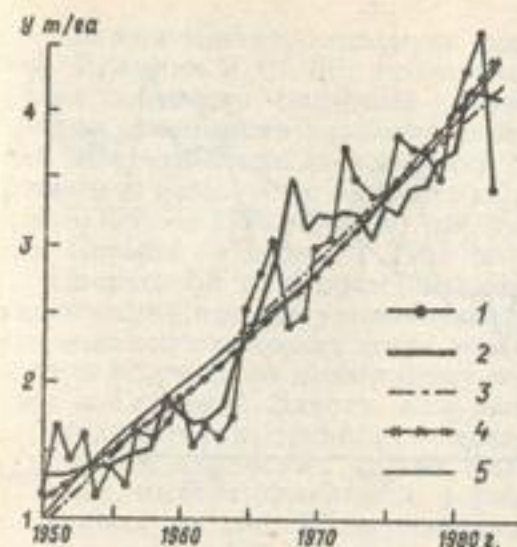


Рис. 2.5. Фактическая динамика и агротехнический тренд урожайности пшеницы в Болгарии, выделенный с учетом изменения вносимых доз удобрений.
1 — фактические данные, тренды урожайности: 2 — агротехнический (экономический), 3 — линейный, 4 — параболический, 5 — дробно-линейный.

кретных сортов к минеральным удобрениям, так и эффективность действия последних в условиях различного фона естественного увлажнения, свойственного территориям штатов Северная Дакота и Висконсин.

Исходя из видов зависимостей „минеральные удобрения — урожайность”, для описания агротехнического компонента динамики урожаев пшеницы в регионах интенсивного земледелия представляется удобным использовать приближения (2.2) и (2.3), рассматривая в качестве аргумента $x(t)$ дозы потребляемых минеральных удобрений в t -й год. Сущность предлагаемого подхода наглядно поясним рис. 2.5 и 2.6. Так, на рис. 2.5 показана фактическая динамика и агротехнический тренд урожайности пшеницы в Болгарии, выделенный с учетом изменения ежегодно вносимых доз минеральных компонентов NPK. Для сравнения тонкими плавными линиями проведены тенденции, основанные на применении временных функций $f(t)$, указанных в подписи к рисунку.

Значения статистик d и $\sigma_{\Delta y}$, полученные по разным аппроксимациям, показывают, что при помощи агротехнического тренда (2.3) изменения динамики фактических урожаев удается описать более точно. В частности, на рис. 2.5 это визуально прослеживается на временных отрезках 1950–1967, 1978–1983 гг. Последнее прежде всего объясняется тем, что в целом подъемы урожаев в значительной степени обусловлены интенсификацией применения минеральных удобрений, точнее достаточной эффектив-

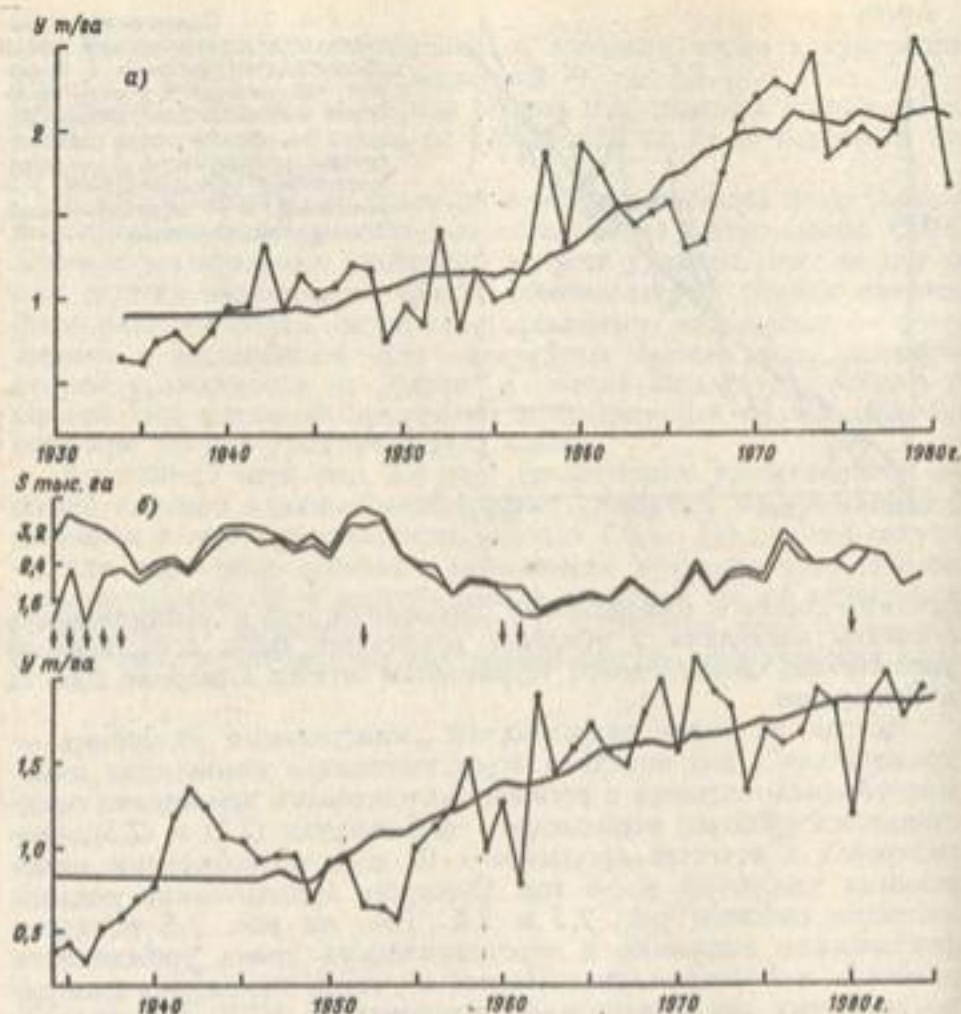


Рис. 2.6. Тренды урожайности, выделенные на основе динамики доз внесенных удобрений в пшеничном поясе США.

а — озимая пшеница (шт. Канзас), б — яровая пшеница (шт. Северная Дакота).

ностью их действия в рассматриваемые годы. Одновременно неурожайные годы, в большинстве случаев относящиеся к сухим (например 1968 г. в НРБ), выделяются более резко ввиду низкой эффективности действия компонентов НРК при недостатке влаги в верхних горизонтах почвы.

Аналогичные сопоставления, проведенные для Венгрии, Польши, Румынии и ЧСФР, также указывают на возможность уточнения тенденции изменения урожайности путем введения в расчетные зависимости динамики агротехнического показателя. Так, для ВНР уточнение экономически обеспеченных уровней урожаев позволило более четко выделить как неурожайные 1954 и 1975 гг., для ЧСФР — 1970, 1975 гг., для Румынии — 1970, 1975, 1979 гг., для Польши — период с 1968 по 1972 г.

На рис. 2.6 а, б представлены фактические данные и агротехнические тренды урожайности, определенные на основе информации о ежегодных дозах вносимых минеральных удобрений в двух ведущих по производству пшеницы штатах США — Канзасе и Северной Дакоте. Как видно из рисунков, с помощью агротехнических трендов в целом описываются особенности тенденции изменения уровня фактических урожаев, обусловленные интенсификацией зернопроизводства. В качестве сравнения на рис. 2.6 б показана динамика посевных и уборочных площадей под пшеницей за выбранный период. Отмечается согласование между потерями площадей к сроку уборки и спадами урожайности относительно агротехнического тренда, связанными с неблагоприятными погодными условиями в конкретные сельскохозяйственные годы (например в 1934, 1936, 1953, 1961, 1980 гг.).

В табл. 2.3 указаны статистические характеристики трендов урожайности в некоторых наиболее значимых по производству пшеницы штатах США, рассчитанные в результате приближения фактических данных об урожаях по (2.3) и по явным временным функциям линейного и логистического видов. Результаты вычислений показывают, что использование временной функции (2.1) для сопоставления с расчетами по (2.3) несколько удобнее, так как в большинстве случаев зависимости трендовой урожайности от внесенного количества удобрений отклоняются от линейного роста, обнаруживая тенденцию к насыщению. Поэтому значения $\sigma_{\Delta U}$, оцененные приближением по временной логистической кривой, всюду ниже соответствующих оценок по линейной временной функции.

Следует отметить, что ввиду нелинейности параметров некоторых расчетных зависимостей определены значения корреляционного отношения η . При вычислении η анализировались особенности прироста урожайности пшеницы от количества потребляемых компонентов НРК на выбранных временных интервалах. С этой целью исходные ряды были разбиты на 6 групп, для которых определялись групповые средние и строилась корреляционная таблица. Полученные значения η сравнивались с линейным коэффициентом корреляции r на основе F -критерия:

$$F = \frac{(\eta^2 - r^2)(n - k)}{(1 - r^2)(k - 2)}, \quad (2.4)$$

где k — число групп, n — объем выборки.

Расчеты указывают на близость обеих статистик в случае озимой пшеницы. Для яровой пшеницы значения η , приведенные в табл. 2.3, несколько выше, чем r .

Из сопоставления величин d и $\sigma_{\Delta y}$ в 35 зернопроизводящих штатах можно заключить, что детерминированные изменения урожайности более чем на 75 % описываются трендами во временных рядах, имеющих выраженный рост урожая на фоне незначительных флуктуаций погодного характера. Например, для районов кукурузного пояса и северо-востока США. Для более сухих континентальных штатов, где в основном сконцентрированы посевы сильных и твердых пшениц, значения d несколько ниже и не превышают 0,75. Тенденция изменения $\sigma_{\Delta y}$ в зависимости от региональных особенностей в целом характеризуется возрастанием среднеквадратического отклонения урожая в засушливой зоне по сравнению с регионами, расположенными в условиях достаточного увлажнения, хотя уровень достигнутой урожайности разных сортов определенным образом сказывается в абсолютной величине $\sigma_{\Delta y}$.

Сравнение оценок $\sigma_{\Delta y}$, полученных по разным аппроксимациям для зернопроизводящих районов США, так же как и в случае западноевропейского региона, в целом свидетельствует о большей точности приближения фактических данных об урожаях пшеницы агротехническими (экономическими) трендами. Прежде всего это прослеживается для тех территориальных единиц, где посевы пшеницы заметно преобладают в общей посевной площади (Северная Дакота, Канзас, Вашингтон, Монтана и др.). В отдельных же вариантах вычислений, например для штатов юго-востока США, использование явных временных зависимостей может оказаться предпочтительнее, поскольку приводит к некоторому уменьшению величины $\sigma_{\Delta y}$ в сравнении с расчетами по (2.3). Такое положение обусловлено тем, что выбранный нами агротехнический показатель применительно к пшенице иногда носит несколько условный характер, особенно для тех регионов, в которых доля посевов пшеницы незначительна, а основная часть удобрений вносится под технические (хлопчатник, табак) и овощные культуры. Тем не менее не оставляет сомнения тот факт, что при помощи трендов, учитывающих динамику потребления удобрений, можно существенно уточнить детерминированные изменения урожайности, если, скажем, мы будем располагать ин-

Таблица 2.3
Статистические характеристики трендов урожайности пшеницы в некоторых штатах США за период 1934—1981 гг.

Штат	$\bar{y}$ т/га	$y_p(t) = a_1 + a_2 t$		$y_p(t) = \frac{a_1}{1 + a_2 e^{-at}}$		$y_p(t) = a_1 + \frac{1}{a_2 + a_3/x(t)}$	
		d (r^2)	$\sigma_{\Delta y}$ т/га	η^2	$\sigma_{\Delta y}$ т/га	η^2	$\sigma_{\Delta y}$ т/га
Озимая пшеница							
Канзас	1,43	0,530	0,387	0,757	0,261	0,764	0,259
Оклахома	1,25	0,684	0,266	0,694	0,265	0,701	0,263
Техас	1,11	0,703	0,237	0,707	0,235	0,707	0,235
Вашингтон	2,34	0,769	0,283	0,780	0,276	0,783	0,274
Миссури	1,74	0,719	0,329	0,828	0,255	0,848	0,240
Яровая пшеница							
Северная Дакота	1,25	0,579	0,310	0,640	0,292	0,759	0,283
Монтана	1,21	0,253	0,361	0,594	0,243	0,738	0,234
Южная Дакота	0,99	0,388	0,417	0,551	0,372	0,664	0,362
Миннесота	1,57	0,691	0,304	0,824	0,236	0,863	0,232

формацией о ежегодно вносимых дозах минеральных туков непосредственно под исследуемую нами зерновую культуру.

Для выделения трендов урожайности в зернопроизводящих районах нашей страны привлечена информация о динамике урожаев озимой и яровой пшеницы в областях, краях, автономных и союзных республиках за послевосенный период. Ввиду отсутствия достаточных данных о показателях агротехнологии, в качестве функций, определяющих форму тренда, выбирались явные временные зависимости. Анализ результатов расчетов показывает, что для описания тенденции изменения урожайности озимой пшеницы в большинстве районов ЕТ РФ удобнее применять параболическую временную зависимость. Для областей Беларуси и северной части Украины приближения осуществлять по логистической временной кривой. В основной зоне возделывания яровой пшеницы прирост урожаев достаточно полно может быть описан при помощи линейной аппроксимации. В некоторых районах интенсивного земледелия в качестве трендовой можно также рассматривать экспоненциальную функцию.

При определении статистической значимости трендов оценены коэффициенты детерминации d . Для озимой пшеницы общий прирост урожаев в областях Юго-Западного экономического района Украины, в Беларуси и республиках Прибалтики объясним возрастающим агротехническим трендом более чем 70 %. Значения $d < 0,7$ характерны для областей Донецко-Приднепровского, Северо-Кавказского и Поволжского экономических районов.

Статистическая значимость трендов урожайности яровой пшеницы существенно различна в разных районах ее производства. Наиболее выражен агротехнический тренд во временных изменениях урожаев яровой пшеницы в Прибалтике, Беларуси, Центральном и Северо-Западном экономических районах РФ — для этой зоны, в среднем $d > 0,7$. Для степной части Украины, Поволжья и Северного Кавказа коэффициент детерминации изменений урожаев составляет от 0,5 до 0,7. Низкие значения, $d < 0,5$, характерны для восточной части зернового клина: областей Северного Казахстана, Западной и Восточной Сибири.

Диапазоны изменения среднеквадратического отклонения фактических урожаев от уровня тренда ($\sigma_{\Delta y}$) различны в рассматриваемых территориях и связаны, с одной стороны, с общим фоном урожайности, с другой — с проявлением воздействия погодно-климатических условий на ее изменчивость. Для районов с высоким уровнем хозяйственной урожайности пшеницы ($Y > 1,5$ т/га), значения $\sigma_{\Delta y}$ могут достигать 0,5—0,6 т/га. В областях с более низкими средними показателями — всего 0,2—0,3 т/га. Несколько выше величина среднеквадратического отклонения для регионов, где объемы валовых сборов пшеницы существенно зависят от изменчивости погодных условий. Например, в областях Север-

ного Казахстана и Нижнего Поволжья при средней хозяйственной урожайности 0,7—0,9 т/га, $\sigma_{\Delta y}$ достигает 0,3—0,4 т/га.

При описании тенденций изменения уровня хозяйственных урожаев пшеницы в капиталистических странах Западной Европы за период с 1950 по 1983 г. также применены аналитические временные функции $f(t)$, поскольку исчисление ежегодных доз потребляемых компонентов NPK затруднено из-за отсутствия информации о площадях, отведенных под пашню. (С нашей точки зрения, сведения о площадях 16 главных сельскохозяйственных культур, приводимые в [183], явно не достаточны для их интерпретации в качестве площадей, используемых для расчета доз потребляемых минеральных туков.)

2.5. Выделение агротехнических трендов в длительной динамике урожаев

Особый интерес для анализа влияния погодно-климатических условий на межгодичную изменчивость урожаев в зерновых регионах представляет выделение тенденций, обусловленных совершенствованием культуры земледелия, в длительной динамике урожайности. Основой для таких построений могут явиться временные ряды хозяйственных урожаев пшеницы в административно-территориальных единицах Канады, США и нашей страны с конца прошлого — начала текущего столетий по настоящее время.

Выявление непрерывных трендов урожайности за указанный период в регионах Канады и США осуществлялось на основе аппроксимации фактических данных немонотонными функциями времени. Так, например, для описания тенденции изменения урожайности пшеницы с начала XX столетия в 9 провинциях Канады использована параболическая функция. Удобство применения данной зависимости связано со следующими соображениями. Во-первых, на протяжении исследуемого периода проявлялась тенденция сокращения валовых сборов, особенно в прерии Канады с конца 20-х до начала 40-х гг. Известно, что временной интервал, примерно охватывающий 30-е гг., в климатическом отношении рассматривается как засушливый, что, естественно, объясняет серию неурожайных лет. Во-вторых, существуют и доводы, касающиеся влияния экономических причин, приведших к спадам в производстве зерна пшеницы. Первая такая причина заключается в экономическом кризисе, охватившем сельскохозяйственную сферу Канады и связанным первоначально с процессом распада и реорганизации пшеничных союзов, начавшимся в 1924 г. Процесс массового разорения фермеров был длительным и губительно ска-

зался на канадском зернопроизводстве того времени [100]. Вторая причина вызвана довольно быстрым истощением плодородия почв при интенсивной распашке прерий, усугубленным воздействием пыльных бурь в 30-е гг. Характерно, что тенденции к подъему урожайности намечается с 1940 г., когда пшеничные пулы вновь возобновили свою деятельность.

К сожалению, рассчитать величину трендовой урожайности в провинциях Канады для последующих десятилетий с привлечением динамики агротехнических показателей не представляется возможным. До последних полутора-двух десятков лет в Канаде считалось нецелесообразным широко применять минеральные удобрения из-за сложности сбыта конечной продукции полеводства. Основным экономическим „рычагом“ для производства пшеницы продолжало оставаться совершенствование севооборотов¹ и внедрение пластичных продуктивных сортов. Что касается средств механизации, интерпретация их действия в условиях зернопроизводства Канады также затруднительна, поскольку существенное пополнение парков сельскохозяйственной техники в период сева и особенно уборки урожая происходит за счет машин, прибывающих из США [152]. Для иллюстрации на рис. 2.7 показан параболический тренд урожайности яровой пшеницы в провинции Саскачеван. Отметим значительные колебания урожая на фоне тренда за весь рассматриваемый период. При этом общий прирост урожайности в прерии Канады выражен довольно слабо, что объясняется спецификой зернопроизводства в стране, о которой только что упоминалось.

В качестве расчетных функций при построении трендов урожайности в зернопроизводящих штатах США с 1891 по 1984 г. наряду с параболическими применены и функции кубического вида, обоснованность использования которых связана со снижением уровня урожая в 30-е гг. в США по причинам, аналогичным в Канаде. Однако в отличие от Канады, экономическая депрессия, наблюдавшаяся в сельскохозяйственном производстве Соединенных Штатов, в большей степени проявилась в сокращении промышленных поставок минеральных удобрений и техники отраслям земледелия (динамика ежегодного потребления минеральных удобрений в сельском хозяйстве отдельных штатов с 1921 г. полностью подтверждает этот факт). Фактическая динамика и тренды урожайности пшеницы с конца прошлого столетия в некоторых зернопроизводящих штатах США приведены в работе [90].

¹ В том числе широко распространенного севооборота пар — пшеница по пару — пшеница по пшенице.

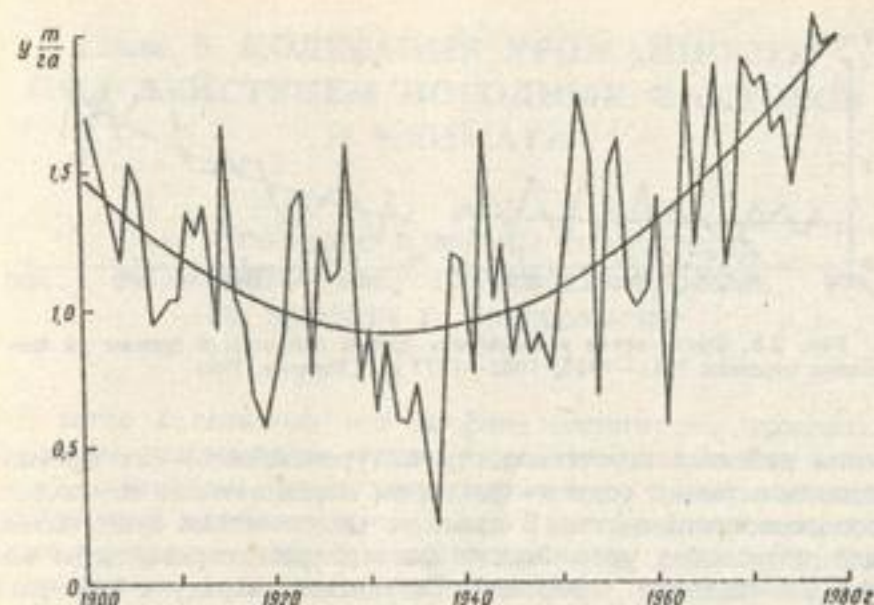


Рис. 2.7. Колебания урожая яровой пшеницы на фоне параболического тренда (пров. Саскачеван, Канада).

Основой для расчета трендов урожайности за длительный период в областях нашей страны являлась информация об урожайности яровой пшеницы на временных интервалах: 1881—1916 и 1945—1980 гг. Аппроксимация на первом отрезке осуществлялась по линейной, на втором — по параболической временным зависимостям. В общей сложности было рассчитано 35 „кусочных“ трендов урожайности в областях ЕТ СССР [85]. Из сравнения полученных результатов можно заключить, что для дореволюционного периода характерен слабо выраженный тренд урожая, в послевоенное время наблюдается тенденция заметного подъема уровня урожайности пшеницы. В качестве иллюстрации на рис. 2.8 показана фактическая урожайность яровой пшеницы и тренды на временных интервалах 1881—1916 и 1945—1980 гг. в Татарстане.

Итак, мы рассмотрели некоторые приемы выделения детерминированных тенденций в динамике фактических урожаев. Преимущество подхода, основанного на учете количественных связей между временными изменениями агротехнических показателей и уровнем достигнутой урожайности, явно прослеживается при сопоставлении статистических оценок, полученных в результате разных аппроксимаций. Однако в большинстве случаев для вы-

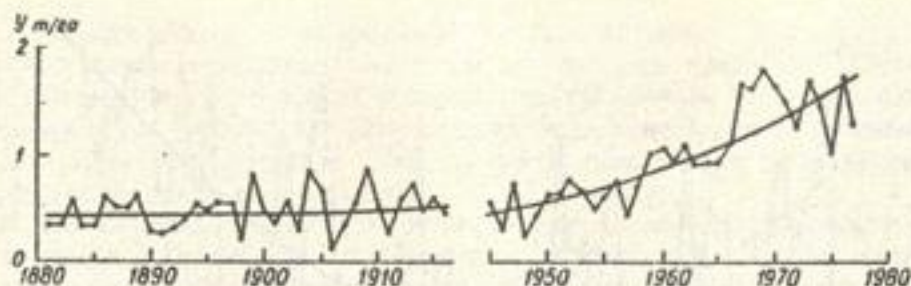


Рис. 2.8. Фактическая урожайность яровой пшеницы и тренды на временных отрезках 1881—1916, 1945—1977 гг. (Татария, РФ).

явления действия агротехнологии на урожайность, как правило, использован только один из факторов, определяющих интенсификацию зернопроизводства. В качестве такого весьма существенно для повышения урожайности фактора рассмотрены дозы вносимых минеральных удобрений. Безусловно, наряду с минеральными удобрениями в расчетные зависимости следовало бы ввести и информацию о потреблении органических удобрений или другие агротехнические показатели, оценивая, таким образом, их совместный эффект влияния на урожайность. Тем не менее высокая сопряженность временных изменений факторов агротехнологии и часто недостаточная информативность о динамике отдельных показателей затрудняют проведение подобных детальных построений.

В то же время, в отличие от априорного подхода при выявлении тенденций, метод расчета трендовой урожайности с привлечением динамики экономических показателей является более предпочтительным в целях получения перспективных оценок фона урожаев. Так, например, исходя из прогностических сценариев применения минеральных удобрений к концу столетия, нетрудно определить возможные пределы ожидаемого прироста уровня хозяйственной урожайности в отдельных странах и сельскохозяйственных регионах крупных государств [144].

Дополняя последнее высказывание, необходимо упомянуть, что выполненные еще в начале 80-х гг. оценки ожидаемых к концу десятилетия уровней экономически обеспеченных урожаев по (2.3) впоследствии оказались весьма близки эмпирическим данным о величине достигнутой урожайности в разных странах благодаря наблюдаемому росту интенсификации зернопроизводства.

Глава 3. КОЛЕБАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОГОДНЫХ ФАКТОРОВ И КЛИМАТА

3.1. Основные причины и факторы, вызывающие неустойчивость урожаев во времени и пространстве

В главе 2 показано, что на фоне достигнутого прогресса в технологии возделывания зерновых культур одновременно наблюдаются и заметные флуктуации фактических урожаев по годам. Межгодовые колебания урожайности, как известно, зависят от целого комплекса условий внешней среды, но действие погодноклиматических факторов при этом является определяющим. Конечно, неустойчивость урожаев во времени может быть вызвана и другими причинами: например, повреждениями посевов вредителями или болезнями зерновых злаков. Тем не менее последние причины, как правило, связаны с неблагоприятными метеорологическими условиями, приводящими к ослаблению растений [37, 67].

Влияние погодноклиматических условий на формирование конечных урожаев чрезвычайно многообразно. Так, В. М. Обуховым показано, что основным фактором, определяющим межгодовые колебания урожайности в зоне сухого земледелия СССР является значительная изменчивость количества осадков, выпадающих на протяжении вегетации от года к году. Корреляция между аномалиями урожайности пшеницы и осадками за апрель-июль по исследованиям Обухова составила для областей Юго-Востока ЕТС значение $r > 0,8$, для черноземной полосы России — 0,7. Одновременно корреляция между отклонениями урожаев и средними декадными температурами воздуха в указанных районах оказалась несколько ниже — $0,5 < r < 0,75$ [98].

В зарубежных исследованиях, к примеру японского метеоролога Х. Аракава, установлена довольно тесная связь колебаний сбора риса со средней температурой воздуха за июль и август в центральной Японии. Коэффициенты корреляции для рядов длительностью 39 лет составили соответственно 0,85 и 0,79. На основе расчетов, проведенных Аракавой, показано, что основной

причиной недородов риса является холодное лето и избыточные осадки [8].

В основных зернопроизводящих регионах неорошаемого земледелия США и Канады, так же как и на зерносеющей территории СССР, решающее влияние на изменчивость урожаев оказывает периодический дефицит атмосферного увлажнения по годам. По проведенным нами расчетам, коэффициент корреляции между количеством осадков, выпадающих с апреля по август, и отклонениями урожайности за 48-летний период в континентальной части Северной Америки составляет около 0,7 и достигает еще более высоких значений в засушливых районах.

Кроме условий увлажнения и теплообеспеченности вегетационного периода, на устойчивость конечных сборов зерновых культур в умеренных широтах могут существенно влиять условия перезимовки. К числу прочих неблагоприятных причин необходимо отнести повреждение посевов заморозками, истощение плодородия почв, затопление посевных площадей и др.

Временную изменчивость урожаев часто удобно сопоставлять с динамикой комплексных агрометеорологических показателей — например, гидротермического коэффициента (ГТК), индекса Д. А. Педя (S_p) как за выбранные месяцы, так и в целом за вегетационный период. На основе выполненных расчетов оценена корреляция между отклонениями (аномалиями) урожайности пшеницы и изменением S_p за май — июнь в 10 экономических районах СССР, которая для континентальной зоны достигает значений $r > 0,75$. Закономерности пространственного распределения вариабельности урожаев (рассмотрения которых коснемся в главе 4) целесообразно сравнивать с комплексными агроклиматическими показателями: осредненными по территории значениями ГТК, радиационным индексом сухости М. И. Будыко, некоторыми индексами засушливости и показателями увлажнения [21, 49, 108, 115, 133].

При исследовании воздействия климатических факторов на долгопериодные колебания урожайности более удобно сопоставлять сглаженные величины аномалий урожаев с усредненными во времени характеристиками климатического режима — скользящими средними отклонениями температуры приземного слоя воздуха внеэкваториальной зоны полушария в узлах регулярной сетки или сглаженными ходом количества атмосферных осадков над континентами, отнесенными к определенным широтным зонам (более подробное изложение этого вопроса дается в разделах главы 5).

3.2. Погодно-климатическая составляющая динамики урожаев и ее характеристики

Итак, установив совокупность основных внешних факторов и причин, приводящих к неустойчивости урожаев, перейдем к рассмотрению характеристик погодно-климатической (метеорологической) составляющей динамики урожайности. Для того чтобы оценить влияние внешних условий на конечный урожай в конкретном году t , представим фактическую урожайность Y_t в следующем виде:

$$Y_t = y_{pt} \pm \Delta Y_t \quad \text{или} \quad \Delta Y_t = Y_t - y_{pt}, \quad (3.1)$$

где y_{pt} — трендовая величина урожайности, ΔY_t — флуктуация (аномалия) урожайности относительно тренда, обусловленная воздействием внешних факторов.

Последовательность межгодовых изменений ΔY (с учетом знака) может быть получена весьма просто — путем исключения тренда в исходном ряду урожаев. Между тем следует обратить внимание, что характер флуктуаций на фоне трендов различен в рассматриваемых сельскохозяйственных регионах и наряду с воздействием погодно-климатических условий может определяться селекционными свойствами используемых сортов. В целях выявления особенностей динамики отклонений урожайности от действия последней причины проанализировано более 250 временных реализаций ΔY разной продолжительности, относящихся к зернопроизводящим территориям СССР, США, Канады и региону Западной Европы.

Результаты сравнений свидетельствуют о том, что выделяется два типа временных рядов межгодовых отклонений урожайности. В первом типе, к которому следует отнести динамику ΔY в большинстве континентальных районов производства пшеницы, наблюдается относительная неизменность амплитуд флуктуаций во времени. Такой характер колебаний урожайности в немалой степени обусловлен свойствами распространенных здесь сортов, обладающих признаками засухоустойчивости, устойчивости к полеганию и обычно дающих гарантированный минимум урожая при воздействии неблагоприятных погодных ситуаций. Характер межгодовых флуктуаций ΔY , близкий к стационарному, также весьма часто наблюдается и в регионах устойчивого земледелия, что, например, подтверждает анализ динамики отклонений урожаев в северо-восточных штатах США и других сходных по

агроклиматическим показателям регионах умеренного пояса (см. рис. 2.1).

Особенностью временных рядов второго типа является заметное возрастание амплитуд ΔU во времени, и это в основном характерно для районов быстрого внедрения и широкого использования высокопродуктивных сортов. Увеличение амплитуд межгодовых отклонений урожаев объяснимо повышенной отзывчивостью высокопродуктивных сортов к условиям агротехники. Отсюда в благоприятные в сельскохозяйственном отношении годы они могут давать высокие урожаи, в то время как в неблагоприятные — довольно низкие, в особенности если не обеспечен достаточный комплекс агротехнических мероприятий противостоянию засухе, суховею, вымерзанию, полеганию или другим отрицательным воздействиям внешней среды.

Для сравнительного анализа характера межгодовых флуктуаций урожайности под действием погодно-климатических условий иногда предпочтительнее оперировать безразмерными величинами, которые могут быть получены или путем соотношения аномалий ΔU к средней хозяйственной урожайности рассматриваемого периода — $\Delta U/\bar{U}$ или, при наличии проявления связи между временным возрастанием амплитуд ΔU и величинами трендовой урожайности U_p , из соотношения к трендовому значению — $\Delta U/U_p$ [13, 33, 90, 107]. Удобство такого приема заключается в известном абстрагировании от конкретных проявлений свойств тех или иных сортов и вместе с тем позволяет осуществлять сопоставление динамики отклонений как во временном, так и пространственном разрезе. Относительные величины с учетом знака входящих в них значений ΔU можно также выразить в виде процента прироста или потерь, наблюдаемых по годам в динамике фактической урожайности на фоне достигнутых хозяйственных показателей.

Так, например, в работе [83] анализируется длительная динамика отклонений $\Delta U/U_p$ (%) главных продовольственных культур в СССР и США. При исключении влияния агротехнологии учтены временные изменения доз вносимых минеральных удобрений за период с 1920 по 1980 г. В целях проведения сравнительного анализа динамики отклонений урожаев в двух крупных зернопроизводящих зонах северного полушария оценены коэффициенты корреляции r между отклонениями урожайности выбранных культур внутри каждой зернопроизводящей зоны. Указанные оценки сведены в табл. 3.1.

Как видно из таблицы, в большинстве случаев прослеживается статистически значимая на 95 %-ном доверительном интервале (отмечена*) корреляция между отклонениями урожаев культивируемых хлебных злаков. Наиболее высокие значения парных ко-

Таблица 3.1

Коэффициенты корреляции относительных отклонений урожайности зерновых культур в СССР и США

СССР				США					
Зерновая культура	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Рожь	Зерновая культура	Пшеница	Кукуруза	Овес	Рожь	Ячмень
Озимая пшеница	1	0,12	0,59*	Пшеница	1	0,40*	0,45*	0,37*	0,22
Яровая пшеница		1	0,24	Кукуруза		1	0,35*	0,43*	0,42*
Рожь			1	Овес			1	0,51*	0,49*
				Рожь				1	0,75*
				Ячмень					1

*Оценки r статистически значимые на уровне $\alpha = 0,05$.

эффициентов корреляции характерны для культур, возделываемых в сходных агроклиматических условиях: например, для ячменя и ржи в США, основные посевы которых размещены в северной части зернопроизводящей территории ($r = 0,75$); или для культур с близкими фенологическими фазами развития, например, для озимой пшеницы и озимой ржи в СССР ($r = 0,59$). Вместе с тем незначительная корреляция проявляется для озимых и яровых форм культур, и это находит отражение в заметной асинхронности колебаний урожайности озимой и яровой пшеницы в СССР ($r = 0,12$), преобладающих озимых форм пшеницы и яровых форм ячменя в США ($r = 0,22$).

Практически полное отсутствие корреляции отклонений $\Delta U/U_p$ может также наблюдаться и для генетически однородной культуры, но возделываемой в условиях зернопроизводства СССР и США (например, для пшеницы эта корреляция не превышает $r = 0,11$). Наличие такого факта в первую очередь объяснимо существенным различием погодных ситуаций, складывающихся на протяжении рассматриваемых лет в значительно удаленных друг от друга территориях северного полушария.

В качестве иллюстрации характера межгодовых колебаний урожайности под влиянием погодно-климатических условий и их особенностей в крупных регионах зернопроизводства северного полушария на рис. 3.1 показана непрерывная динамика отклонений урожаев $\Delta U/U_p$ — некоторых продовольственных культур в США с 1920 г.

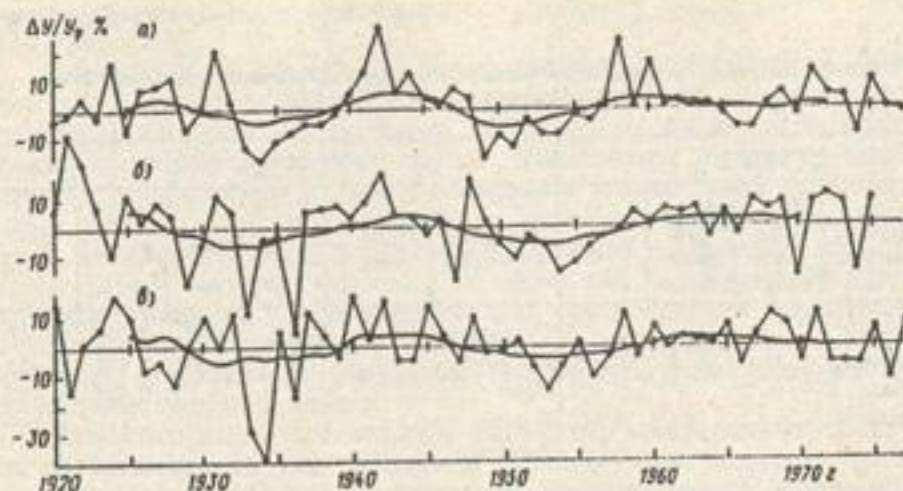


Рис. 3.1 Межгодовые колебания урожая зерновых культур в США под влиянием погодно-климатических условий.
а — пшеница, б — кукуруза, в — овес.

При выявлении особенностей изменения долгопериодной составляющей динамики аномалий урожайности относительные отклонения подвергнуты 11-летнему скользящему осреднению. (Несмотря на некоторые недостатки данного статистического приема, указанные в разделе 2.1, скользящее осреднение тем не менее имеет преимущество по сравнению с другими способами фильтрации, состоящее в сохранении внутренних свойств и особенностей исходных временных рядов.) Полученные таким способом сглаженные линии, изображенные на рис. 3.1, дают возможность проследить закономерности колебаний урожайности главным образом под влиянием изменений агроклиматического режима. Можно отметить присутствие синфазности между тенденциями длительных колебаний урожайности, приведенными для пшеницы, кукурузы и овса. При этом обращает внимание наличие заметных снижений $\Delta U/U_p$ в 30-е гг., вызванных, как ранее отмечалось, учащением засушливых явлений в умеренных широтах полушария. Присутствие синфазных снижений урожаев для приведенных выше культур можно проследить и в последующий период.

Закономерности подобного рода также присутствуют и в динамике отклонений урожаев главных продовольственных культур

в СССР — озимой и яровой пшеницы, озимой ржи. Так, снижения 11-летних скользящих отклонений наблюдается для всех рассматриваемых культур в 30-е гг., однако в дальнейшем снижения отчетливо прослеживаются лишь с середины 60-х гг., т. е. уже идут практически в противофазе с долгопериодными тенденциями колебаний урожайности на североамериканском континенте. Общие подъемы осредненных отклонений урожайности зерновых культур в СССР и США отмечаются в середине 20-х гг., затем для США — в начале 40-х гг., для СССР — в 50-е гг.

Для интерпретации характера межгодовых флуктуаций урожайности, наряду с динамикой отклонений $\Delta U/U_p$, часто представляется весьма удобным использовать отклонения ΔU , отнесенные к средней хозяйственной урожайности исследуемого периода U . Это связано с тем, что динамика отклонений $\Delta U/U_p$ может носить затухающий характер (см. рис. 3.1), что не вполне адекватно отражает действительное воздействие внешних факторов на колебания конечных сборов культур во времени. По этой причине в [90] отдано предпочтение анализу непрерывной динамики отклонений $\Delta U/U$ в регионах производства пшеницы на территории США и Канады с 1891 по 1984 г. Можно отметить, что качественный анализ длительных временных реализаций $\Delta U/U$ позволяет предположить наличие близкого к стационарному характера колебаний урожайности пшеницы на выбранном временном интервале. Одновременно при этом наблюдается закономерное изменение амплитуд межгодовых флуктуаций в региональном разрезе: значительные амплитуды отклонений по годам характерны для степных континентальных районов, заметно менее выраженные — для зоны достаточного и равномерного увлажнения. Сопоставление динамики скользящих средних отклонений урожаев $\Delta U/U$ в регионах, относящихся к разным природно-климатическим комплексам, позволяет также убедиться в наличии периодов выраженных спадов урожайности. Такие периоды прослеживаются в 30-е и 50-е гг. главным образом в континентальной степной зоне (пшеничном поясе), и это в свою очередь находит отражение в динамике отклонений урожаев культуры в целом по территории США, указанной на рис. 3.1 а.

Аналогичная закономерность пространственного возрастания амплитуд отклонений урожайности просматривается и для зернопроизводящих районов СССР при продвижении из достаточно увлажненной в засушливую зону. К сожалению, проследить непрерывную картину скользящего осреднения $\Delta U/U$ за длительный период в региональном плане не представляется возможным из-за недостаточной полноты данных до 50-х гг. Тем не менее имеющаяся в наличии динамика 11-летних скользящих средних уро-

жаев позволяет судить о наличии довольно отчетливых тенденций к их снижению в конце 10-х—начале 20-х гг., на протяжении 30-х и 50-х гг. во внутриконтинентальных областях.

Для корректного использования статистических оценок динамики отклонений урожаев, рассматривая последние в качестве случайных величин, весьма полезно иметь представление о характере распределения исследуемых нами реализаций. Определенное представление о статистическом распределении указанных величин можно получить из гистограмм отклонений урожайности. Для простоты вычислений С. П. Савватеевым предложено оперировать относительной урожайностью — Y_i/y_{pr} , что позволяет, одновременно сохраняя неизменной структуру колебаний, рассматривать гистограмму в положительной области частот с центром в 1. Для проводимых построений исчислены значения относительной урожайности яровой пшеницы в 25 областях Европейской части СССР на временных отрезках 1881—1916, 1945—1977 гг., объединенных в единый интервал, а также привлечена динамика относительных урожаев пшеницы (озимая и яровая в целом) в 35 штатах США на период с 1932 по 1978 г. Ввиду того что вид гистограмм для отдельных областей и штатов может заметно отличаться и, располагая достаточной совокупностью выборок, относительные урожайности во всех выбранных территориальных единицах СССР и США были объединены в единые ряды и, таким образом, получено распределение общего числа случаев для двух зернопроизводящих зон.

Построенные данным способом гистограммы приведены на рис. 3.2. а, б. Для сравнения с помощью плавных пунктирных кривых показаны нормальные распределения для каждого из рассматриваемых случаев с эмпирически рассчитанными дисперсиями.

Можно обратить внимание, что в целом для гистограмм, изображенных на рисунке, характерна слабая асимметрия — значение C_s в среднем меньше 0,24. Если проанализировать распределение значений Y/y_{pr} для отдельных штатов США, то из 35 временных совокупностей в 25 случаях $C_s < 0,25$ и только в 10 случаях величина третьего момента распределения заключена в пределах $0,25 < C_s < 0,5$. Что касается распределения значений Y/y_{pr} по областям СССР, слабая асимметрия наблюдается здесь в 7 случаях, умеренная в 12, значительная в 6 случаях. Однако присутствие как правосторонней так и левосторонней скошенности гистограмм в известной мере компенсирует знак C_s , поэтому для общей картины рис. 3.2 б также наблюдается незначительная асимметрия.

Используя гистограммы, нетрудно оценить величину среднеквадратического отклонения относительной урожайности σ (в дан-

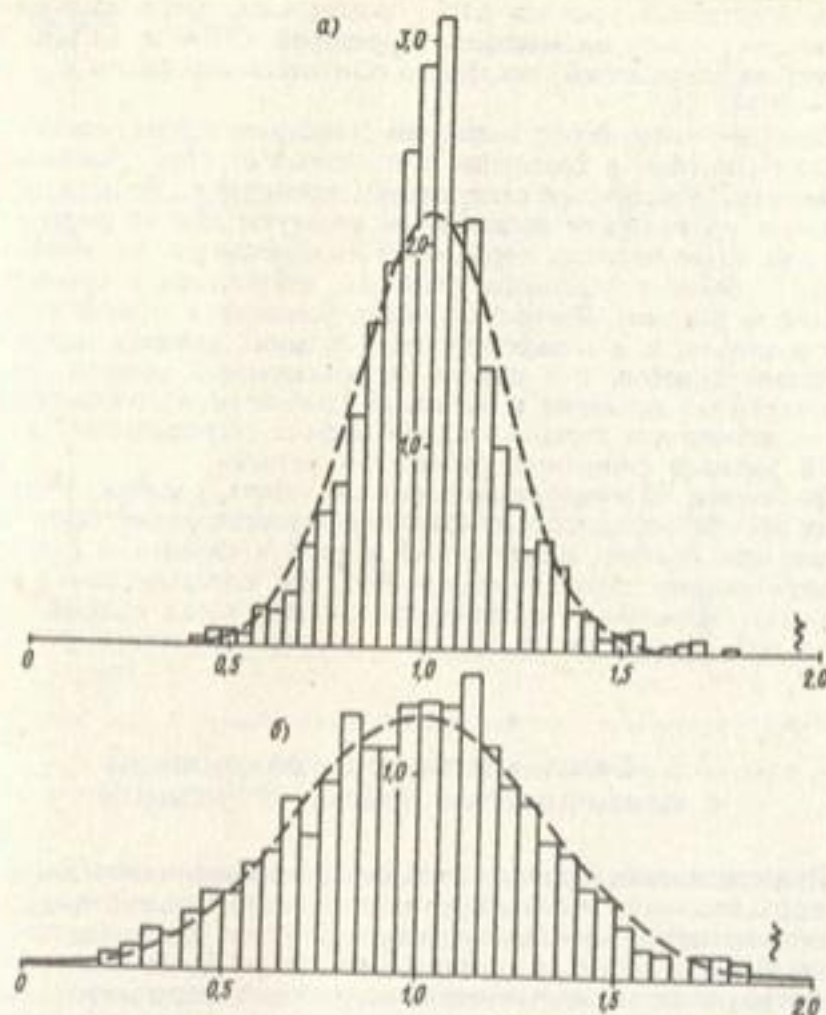


Рис. 3.2. Гистограммы относительной урожайности пшеницы в производящих штатах США (а) и яровой пшеницы в областях ЕЧС (б).

ном случае σ является безразмерной величиной). Как показывают расчеты, в целом для зернопроизводящих регионов США эта величина составляет 0,19, для соответственной совокупности районов СССР (яровая пшеница) — 0,32. Определенные данным способом оценки σ сравнивались с аналогичными оценками, полученными в результате статистической обработки динамических

рядов отклонений урожаев $\Delta U/u$ исследуемых форм культуры в целом для зернопроизводящих территорий США и СССР. Как следует из вычислений, последние соответственно равны $\sigma = 0,10$ и $\sigma = 0,19$.

Заметное уменьшение величины стандартов σ , полученных последним способом в сравнении с оценками σ , определенными из гистограмм, объясняется следующими причинами. Во-первых, отклонения урожайности исследуемой культуры или ее форм в целом для производящей территории складываются из колебаний валовых сборов в отдельных регионах, отнесенных к суммарным площадям посевов. Поскольку вклад регионов в общий валовой сбор различен, и в конкретные годы в одних районах может наблюдаться недобор, а в других сверхождаемый урожай, то это обстоятельство приводит к взаимной компенсации колебаний сборов — отсюда для страны в целом эффект „осредненных“ отклонений урожаев становится сильно сглаженным.

Во-вторых, использование агротехнических трендов, учитывающих временные изменения факторов агротехнологии, дает более точное приближение фактических данных в сравнении с явными аналитическими функциями времени, по которым исчислялись трендовые значения, в особенности для получения величин относительной урожайности U/u_p в зернопроизводящих регионах СССР.

3.3. Связь колебаний урожайности с изменчивостью погодных условий

При выявлении причин, вызывающих межгодовые аномалии урожайности, нами подчеркнуто определяющее воздействие погодных-климатических факторов, рассматриваемое в их неразрывной связи. Действительно, в характере колебаний урожайности, обусловленных изменчивостью погодных условий, содержатся особенности климатического режима исследуемых территорий, которые более отчетливо можно обнаружить при сглаживании межгодовых флуктуаций урожаев. К тому же влияние климатических факторов отчетливо просматривается при сравнительном анализе колебаний в регионах, относящихся к разным природно-географическим зонам.

Однако анализируя динамику хозяйственной урожайности в интересующем нас регионе, мы все же часто сталкиваемся с конкретным проявлением свойств распространенных (преобладающих) в нем сортов тех или иных зерновых культур. Эти свойства сортов проявляются в их отзывчивости к агротехнике и противо-

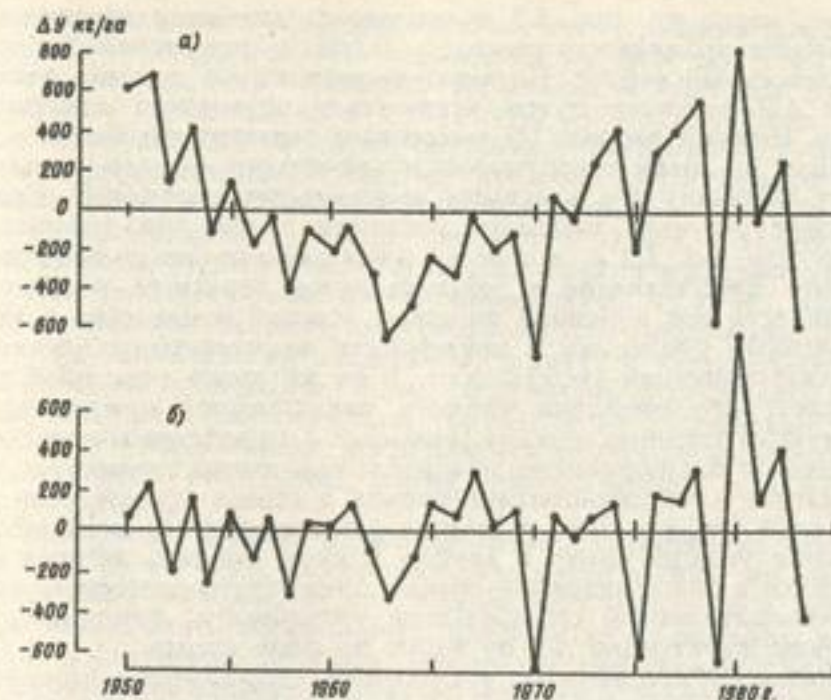


Рис. 3.3. Динамика отклонений урожайности пшеницы в Венгрии (т/га).

а — отклонение урожайности от априорного линейного тренда, б — от экономического тренда.

стоянию неблагоприятным погодным условиям, что определенным образом отражается на величине абсолютных аномалий урожаев. В этой связи при интерпретации воздействия внешних условий на конечные сборы зерна в определенном регионе или территории представляется целесообразным возвратиться к анализу исходной динамики отклонений урожаев, выражаемой в виде межгодовых флуктуаций ΔU (т/га).

В дополнение к вышесказанному, остановимся еще на одном существенном моменте при рассмотрении флуктуаций урожаев. Необходимо отметить, что на общий характер отклонений ΔU во времени может довольно заметно влиять и выбор формы тренда. Это особенно наглядно прослеживается для зарубежных регионов интенсивного земледелия при сравнении величин ежегодных отклонений урожаев, полученных при исключении тенденций разными способами (но менее выражено для тех областей СССР, где культивируются яровые формы культур).

Так, например, рис. 3.3 иллюстрирует динамику абсолютных отклонений урожайности пшеницы (т/га) на территории Венгрии в послевоенный период. На верхнем рисунке (а) картина отклонений ΔU получена путем исключения априорного линейного тренда. Нижний рисунок (б) показывает характер колебаний урожайности по годам относительно исключенного тренда, учитывающего динамику доз вносимых минеральных удобрений. Сопоставление рисунков позволяет убедиться в том, что априорный подход (см. рис. 3.3 а) в определенных случаях может несколько исказить представление о действительном характере колебаний урожайности под влиянием погодных условий и привести к необоснованным суждениям о цикличности долгопериодных (климатических) вариаций урожайности. В то же время рис. 3.3 б показывает, что аномалии урожаев представляют межгодовые флуктуации главным образом связанные с воздействием погодных процессов в благоприятную или неблагоприятную стороны, и это выражается в чередующихся подъемах и спадах урожайности.

Отсюда следует, что уточнение агротехнического компонента динамики урожаев имеет и другую важную сторону, которая заключается в более надежном определении метеорологической (погодно-климатической) составляющей урожайности, интерпретируемой как флуктуации ΔU по годам на фоне тренда.

Динамика абсолютных отклонений урожайности пшеницы ΔU при исключении влияния удобрений на общий рост уровня хозяйственных урожаев в странах Восточной Европы указана в приложении к главе 3. Анализируя отклонения урожайности, можно выделить годы с выраженными аномалиями урожаев. К таким годам относятся как урожайные для пшеницы практически во всех восточноевропейских странах 1953, 1961, 1973, 1978, 1982 гг., так и неурожайные — 1954, 1964, 1970, 1975, 1979 гг.

Поскольку резкие межгодовые колебания урожайности, как правило, вызваны изменчивостью условий увлажнения, для выявления причин аномалий урожайности анализировалась погодная обстановка конкретных лет. С этой целью привлечены данные о месячных суммах атмосферных осадков на сети метеорологических станций, расположенных в основных районах производства пшеницы на территории социалистических стран. Так, на территории ГДР выбрано 7 метеорологических станций, расположенных преимущественно в Тюрингии; в Польше — 15, отнесенных к районам западной, центральной и юго-восточной Польши; в Чехословакии — 8 равнинных станций в Средней Чехии, Моравии и Словакии; в Венгрии 7, преимущественно в венгерской пустыне (Альфельде); в Румынии — 12, главным образом в Банате, Трансильвании и Нижней Влахи; на территории Болгарии — 8 станций, в основном в северной и восточной части страны.

Из проведенного сопоставления метеорологических данных и, в частности, отрицательных отклонений урожаев (т. е. их недоборов) следует, что снижения урожайности пшеницы в ГДР, Польше и Чехословакии в 1954, 1966, 1972 гг. наблюдались в целом при сходных погодных ситуациях, отличительной особенностью которых являлось наличие недостатка атмосферной влаги весной и избыточные осадки летнего периода — особенно июля и августа. Снижение урожаев пшеницы в 1980 г. в Польше, по всей видимости, также связано с избыточными осадками июля и августа: месячная сумма их по наблюдениям на отдельных метеорологических станциях на территории ПНР превышала 200 мм [53, 196]. Сопоставляя сведения об осадках с характеристиками термических условий указанных лет, можно предположить, что основной причиной недородов пшеницы на территории ГДР, Польши и Чехословакии могло явиться полегание посевов¹ или их поражение ржавчиной, обычно развивающейся в избыточно влажные годы.

Пониженные урожаи культуры во всех европейских странах-членах СЭВ в 1964 г. можно объяснить сухой весной, что следует из месячных сумм атмосферных осадков. Для 1970, 1975 и 1979 гг., когда имели место значительные недоборы зерна пшеницы в пределах исследуемых регионов, отмечался выраженный дефицит зимне-весенних осадков. В 1983 г. недостаток атмосферной и почвенной влаги на протяжении вегетации также привел к спаду конечного сбора культуры в Венгрии, Румынии и Болгарии. Локальные недороды, отмеченные в 1950 г. в Румынии и Болгарии, связаны с сухой весной; в 1968 г. в Болгарии ($\Delta U > -1,0$ т/га) — с почвенной весенней засухой [86].

Сильные засухи атмосферного происхождения изредка могут развиваться и над обширными территориями западноевропейского региона, входящими в зону устойчивого увлажнения. Так, например, в исследованиях К. Рочника, касающихся изменений режима осадков на территории Германии за период в 125 лет, указано на возникновение сильной засухи в 1976 г. По приводимым оценкам, кроме территорий ГДР и ФРГ, засухой была охвачена Бельгия, большая часть Франции (до северных отрогов Альп). Она также распространилась на Британские острова [202]. Как отмечает упомянутый автор, по метеорологическим наблюдениям в Восточной Германии летний сезон 1976 г. оказался самым сухим

¹Как отмечает А. Д. Пасечников, наиболее часто повторяемость полегания пшеницы и других зерновых культур наблюдается в зоне достаточного увлажнения в период развития между фазами колошения и восковой спелости (т. е. приблизительно в июле и августе).

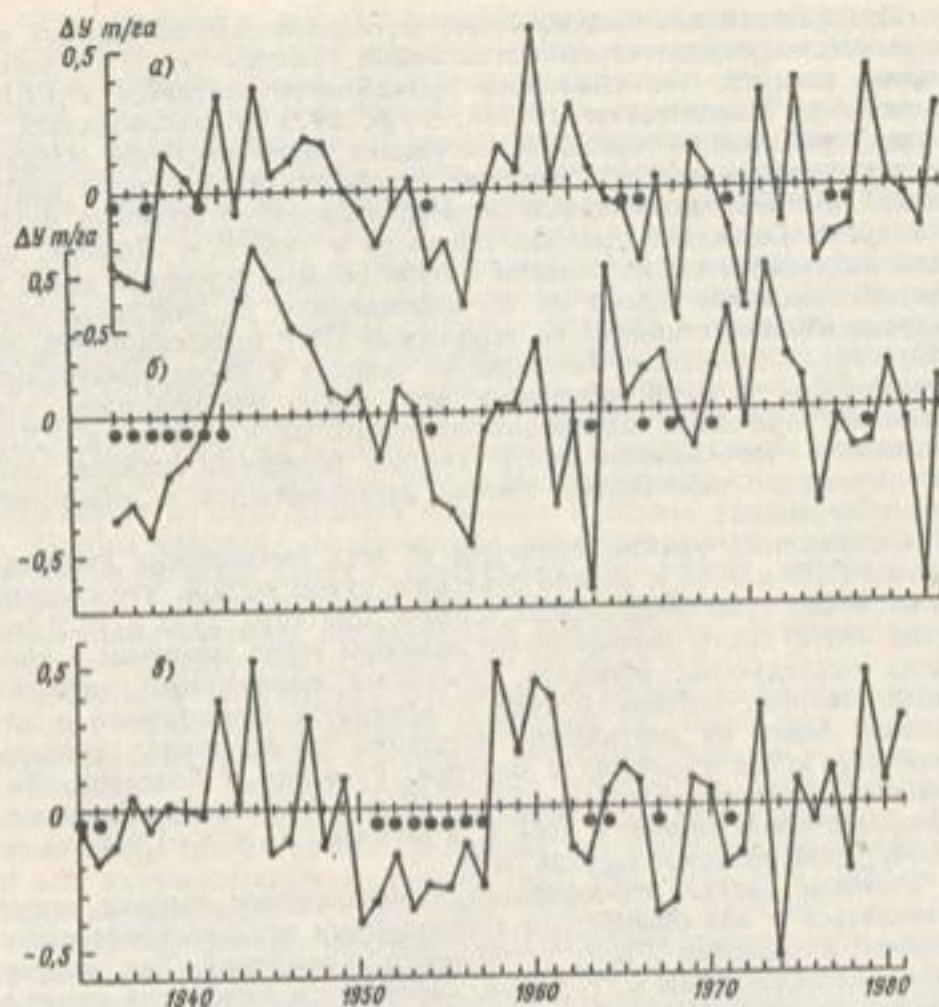


Рис. 3.4 Отклонения урожайности пшеницы в зоне Равнин США (т/га). а, б — яровая пшеница (штаты Миннесота и Северная Дакота), в — озимая пшеница (шт. Техас).

за весь послевоенный период. Данный факт находит адекватное отражение и в динамике отклонений урожая пшеницы на территории ГДР, выделенной при исключении агротехнической тенденции с учетом влияния доз вносимых минеральных удобрений. Так, за рассматриваемый нами период с 1950 по 1983 г., именно в 1976 г. отмечена наибольшая по абсолютной величине отрицательная аномалия урожайности $\Delta Y = -0,6$ т/га. Из сравнения

аномалий урожая культуры в соседних с ГДР социалистических странах в данном году следует, однако, заключить, что восточной границей распространения засухи 1976 г., по всей видимости, являлись западные районы Польши и ЧСФР (поскольку флуктуация ΔY для ПНР хотя и мала по абсолютной величине, но имеет положительный знак; для Чехословакии наблюдается незначительная отрицательная аномалия ΔY). По мнению Рочника, проанализировавшего временные ряды атмосферных осадков на территории германских государств, выделяются „эпохи“ с характерным режимом увлажненности крупных регионов. В качестве первой „эпохи низких осадков“ рассматривается временной промежуток от начала столетия до 1935 г., период с 1936 по 1970 г. относится к „эпохе обильных осадков“. С 1971 г. „эпоха низких осадков“ вновь начинает проявляться. Наряду с „эпохами“ Рочник указывает и на более короткие временные интервалы, резко отличающиеся по условиям атмосферного увлажнения. За текущее столетие к самому дождливому периоду он относит 1966—1970 гг., к наиболее засушливому — 1971—1976 гг. Можно отметить, что последнее замечание в целом не противоречит, а скорее находится в согласовании с результатами анализа условий увлажненности в сельскохозяйственных регионах умеренного пояса за последние десятилетия, например, с 1964 по 1985 г.

Характер абсолютных отклонений урожая пшеницы от уровня трендов, учитывающих динамику доз вносимых минеральных удобрений в зернопроизводящих регионах США, проиллюстрируем с помощью рис. 3.4. Два верхних графика рисунка отражают динамику отклонений урожайности яровой пшеницы преимущественно сортов T. Durum в Миннесоте и Северной Дакоте, являющихся соседними территориями Среднего Запада (Мидуэста) США. Нижний график показывает характер колебаний урожайности озимой пшеницы преимущественно сортов Hard Red Winter в Техасе (Южно-центральный район).

Приведенные на рисунке отклонения ΔY позволяют проследить последовательность подъемов и спадов урожайности, вызванных изменением погодных условий на протяжении рассматриваемого периода. Как следует из графических построений, за период с 1934 по 1981 г. к наиболее благоприятным для выращивания пшеницы в степных и лесостепных районах США можно отнести 1942, 1944, 1958, 1965, 1973, 1981 гг. (значения ΔY в среднем выше $+0,2$ т/га). В целом же удовлетворительными в сельскохозяйственном отношении можно считать 40-е гг., конец 50-х и начало 70-х гг.

Значительные недоборы зерна пшеницы отмечаются на протяжении 30-х гг., в первой половине 50-х гг., а также в после-

дующих десятилетиях в 1961, 1963, 1967, 1974, 1980 гг. (значения ΔU в среднем ниже $-0,2$ т/га).

Остановимся более подробно на анализе динамики снижений урожайности, поскольку, как уже неоднократно упоминалось, основной причиной, вызывающей сильные недороды в районах зернопроизводства, является возникновение и развитие засушливых явлений. Как подчеркивают американские исследователи, засухи весьма распространенное явление в прерии Великих Равнин. Их периодическое появление, сопровождаемое суховеями, также наблюдается и на Центральных Равнинах, что вызывает заметные межгодовые колебания сборов пшеницы и других зерновых культур [170, 194].

В этой связи определенный интерес представляет сопоставление динамики снижений урожайности в выбранных штатах с фрагментом каталога засушливых лет в территориальных единицах США, составленного Х. Диазом и Т. Карлом [181, 192]. Под временными осями графиков рис. 3.4 годы, выделенные Диазом как резко засушливые для данных штатов, проставлены точками. Как видно из построений, прослеживается весьма тесное согласование между динамикой засушливых лет и появлением отрицательных аномалий урожайности озимой и яровой пшеницы. В отдельных случаях имеет место временное запаздывание отрицательных „пиков“ урожаев, и это связано с тем, что засухи даны с внутригодовой градацией на зимние, весенне-летние и осенние.

Одновременно с этим сравнение динамики засух и аномалий урожаев в вышеуказанных территориальных единицах зернопроизводящей зоны США дает возможность наглядно проследить не только отдельные неурожайные годы, но и установить довольно отчетливые границы периодов значительных спадов урожайности. Такие периоды на данном временном отрезке прослеживаются для посевов культуры, сосредоточенных в прерии Великих Равнин, и отражают воздействие серии засух на производство зерна в степных регионах США. Для лесостепной части Грассленда (штат Миннесота) в большей степени характерно присутствие одиночных (иногда двух последовательных) засух, отмечающихся заметно реже в зоне Центральных Равнин, чем на Великих Равнинах.

Несмотря на тесное согласование появления отрицательных аномалий урожайности пшеницы с хронологией засушливых лет, некоторые спады урожаев, однако, не находят объяснения на основе данных, помещенных в каталоге Диаза. В связи с этим коснемся возможных причин, приведших к снижениям урожайности культуры в конце 40-х гг., почти повсеместным недородам в кон-

тинентальной зоне в 1974 г., значительным недобором зерна в конце 70-х гг. (главным образом, в пшеничном поясе).

Так, анализ данных сети метеорологических станций США за 1949—1950 гг. указывает на факт выпадения избыточного количества осадков с мая по август на границе раздела влажной и полувлажной зон Равнин в конце 40-х — начале 50-х гг. По всей видимости, сильные ливни, периодически вызывающие полегание посевов и препятствующие нормальному ходу уборки урожая, явились основной причиной пониженных валовых сборов пшеницы в центральных округах Техаса, западной части Миннесоты и частично в Северной Дакоте в указанные годы. В 1954 г. в северной части Равнин отмечена очень малоснежная зима, а в 1966 г. в Миннесоте — обильные осадки августа, существенно превышающие норму [73].

Рассмотрим некоторые особенности погодной ситуации, складывающейся на протяжении сельскохозяйственного сезона в 1974 г. Как показывают данные осадкомерной сети в 1974 г., на Великих Равнинах и в сопредельной лесостепной полосе наблюдался выраженный дефицит зимне-весенних осадков — почти повсеместно здесь сумма осадков за январь — май отмечена ниже нормы [54, 196]. Для более полного освещения погодных условий результаты метеорологических наблюдений целесообразно дополнить и сравнить с информацией о состоянии „зеленых“ пастбищ и видов на урожай, подразделенных на градацию по внешним признакам: „вполне удовлетворительные“, „достаточно бедные“, „очень бедные“, „умеренная засуха“, „сильная засуха“ [179, 210].

Ориентируясь на предложенную градацию, можно установить, что, например, в июне 1974 г. сельскохозяйственные угодья западного Техаса и соседнего с ним штата Нью-Мексико подверглись воздействию сильной засухи и этот факт находит отражение на рис. 3.4 а. Правда, для других континентальных районов воздействие сильной засухи в летний сезон не зафиксировано, но указано на наличие непродолжительных осенних засух в Дакотах и Миннесоте.

В целом же для 1974 г. характерны заметно большие потери сбора озимой пшеницы, чем яровых форм культуры. Известно, что засухи, первоначально локализованные на юго-западе Великих Равнин, обычно распространяются в восточном направлении или оказывают влияние на условия произрастания зерновых культур в близлежащих штатах через посредство суховеев. Имея это в виду, логично предположить, что возникновение суховеев также могло отрицательно сказаться на урожайности пшеницы,

и в частности, в более восточных районах, где они могут отмечаться даже при сравнительно высоких суммах осадков.

В какой-то мере косвенным доказательством в пользу выказанного предположения может явиться пространственное сравнение среднемесячной температуры воздуха в июне и июле 1974 г. с соответствующими температурами в начале 70-х гг., которые были несколько ниже по абсолютной величине. Однако отсутствие сведений об относительной влажности воздуха не позволяет считать последний из приведенных доводов все же до конца убедительным или слишком бесспорным.

Что касается выраженных недородов пшеницы в 1978 г. в Техасе, и в особенности в 1980 г. в Северной Дакоте, то оценки состояния пастбищно-фуражных условий и вида на урожай указывают на явное воздействие засушливых явлений. Анализ появления аномалий урожайности в Техасе в 1978 г. тем не менее позволяет заключить, что снижение конечного урожая в большей мере обусловлено осенней засухой 1977, наблюдавшейся в ноябре, поскольку сильная засуха в июле — августе 1978 г., охватившая центральный Техас, уже имела место после уборки урожая озимой пшеницы.

Оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий в Северной Дакоте в 1980 г. свидетельствуют о влиянии на урожай весенне-летней засухи, длившейся на протяжении мая — июля, которую по продолжительности и охвату территории можно отнести к разряду экстремальных в северной части пшеничного пояса. По приводимым картографическим данным засуха охватила почти всю территорию Северной Дакоты, распространилась в Монтану и на северо-западную часть Миннесоты [179].

Резюмируя результаты проведенных сравнений, можно заключить, что в целом наблюдаемые снижения урожайности весьма тесным образом связаны с проявлением действия аномальных погодных условий, являющихся главной причиной неустойчивости урожаев. Следует еще раз подчеркнуть, что исключение тенденций в исходных временных рядах $Y(t)$, основанное на учете временных изменений факторов агротехнологии, вносит заметные коррективы в динамику отклонений урожайности. В результате этого, как видно из рис. 3.3 и 3.4, приобретает более четкая сопоставимость аномалий урожаев с особенностями метеорологической обстановки, складывающимися на протяжении рассматриваемых сельскохозяйственных лет.

3.4. Пространственная корреляция аномалий урожайности пшеницы в регионах зернопроизводства северного полушария

Визуальное сравнение характера колебаний урожайности в зернопроизводящих регионах позволяет проследить еще одну важную черту, присущую динамике отклонений от уровня агротехнических трендов. Эта особенность заключается в наличии синхронности колебаний урожайности. Присутствие синхронности в межгодовых отклонениях ΔU более наглядно проявляется для близлежащих районов возделывания пшеницы и других зерновых культур и менее заметно для удаленных территорий. Причина совпадения отклонений урожайности по годам прежде всего состоит в распространяемости и устойчивости атмосферных процессов определенных типов над обширными территориями, которые влияют на условия произрастания сельскохозяйственных культур. Установление границ районов и территорий со сходным характером колебаний урожаев представляется одной из важных задач при комплексных агроклиматических исследованиях, поскольку ее решение позволяет ответить на ряд вопросов, имеющих практическое значение. Например, определить, какие районы могут одновременно подвергаться воздействию неблагоприятных погодных условий и явлений и на основании этого предполагать, в каких из них следует ожидать недоборы зерна или, напротив, рассчитывать на высокий сбор в урожайные годы. Наконец, располагая динамикой отклонений урожаев в конкретном районе и наблюдая проявление в ней каких-либо особенностей или тенденций, на основе учета сопряженности колебаний мы в той или иной степени можем судить о характере изменений, происходящих в других однотипных в агроклиматическом отношении районах.

Выявление районов с синхронными колебаниями урожайности на территории нашей страны впервые проведено Н. С. Четвериковым, который выделил границы „согласных“ колебаний урожаев для 50 губерний Европейской части России [156]. В дальнейшем более детальные исследования в этом направлении выполнены в 1969—1971 гг. под руководством А. И. Манелли [68]. Для анализа сопряженности динамики ΔU использованы временные выборки отклонений урожайности за 22-летний период в административно-территориальных единицах Союза ССР и оценена значимость парной линейной корреляции на 95 %-ном доверительном интервале. В результате проведенных сравнений для озимой и яровой пшеницы выделены группы областей, образующих районы с аналогичной динамикой отклонений урожайности. К таким районам на территории ЕЧ РФ (для которых $r > 0,7$) отно-

сятся: группы областей Северо-Западного, Северного, Центрального, Волго-Вятского экономических районов, области, входящие в Среднее Предуралье, степное Заволжье, центрально-черноземная полоса и часть Северо-Кавказского экономического района.

Согласно вышеуказанным исследованиям, в пределах Украины условно проведенная изокоррелята 0,7 практически оконтуривает Донецко-Приднепровский экономический район, т. е. большую часть степной зоны СССР. Для Юго-Западного экономического района (лесостепная зона) значение r в среднем превышает 0,65; а в некоторых соседних областях, например Ровенской и Волынской, корреляция достигает максимальных значений — $r = 0,88$.

Проведенные расчеты также показывают, что на Азиатской части территории СССР к районам синхронных колебаний урожайности яровой пшеницы следует отнести области Зауралья, степную зону Западной Сибири, лесостепные районы Томской, Кемеровской областей и Красноярского края, ряд областей Северного Казахстана и Дальнего Востока ($0,55 < r < 0,75$).

Не касаясь изложения собственных результатов анализа сопряженности колебаний урожаев в зернопроизводящих регионах страны, которое явилось бы в известной мере повторением уже проведенных исследований, отметим, что предварительное сравнение динамики отклонений урожайности озимой и яровой пшеницы за период с 1945 по 1980 г. позволяет еще более отчетливо проследить границы отдельных районов синхронных отклонений урожаев, как правило, совпадающих с территориальным размещением посевов в определенных почвенно-климатических условиях.

Наряду с группами областей сопряженных колебаний урожайности в [68] указаны взаимокомпенсирующие районы, для которых ход отклонений ΔU во времени имеет противоположный знак. В качестве взаимокомпенсирующих зернопроизводящих территорий, по мнению А. И. Манелли, можно рассматривать некоторые области Украины и юга Казахской ССР, Центрально-Черноземного и Северо-Кавказского экономических районов, Поволжья и Западной Сибири. Для выделенных групп областей значение парных коэффициентов корреляции может достигать величины $r > -0,60$.

Наличие противоположности знаков отклонений урожаев от тренда на значительной части ЕТС с одной стороны и на юге Западной Сибири и в Казахстане с другой также установлено в работах В. М. Пасова, основанных на синоптико-статистическом подходе при прогнозировании влияния погодных факторов на межгодовую изменчивость урожайности. Как подчеркивает В. М. Пасов, такое соотношение знаков аномалий урожайности связано с развитием противоположных по своему характеру атмосферных процессов меридиональных типов, при этом пример-

ной границей, разделяющей влияние их циркуляционных условий на произрастание пшеницы, могут служить Уральские горы. „В результате создается такая барическая и циркуляционная обстановка, которая обуславливает пониженный (повышенный) температурный фон и избыток осадков в Западной Сибири и Северном Казахстане и противоположные условия на ЕТС" [105].

Представляет интерес также сопоставить динамику погодной составляющей изменений урожайности для зарубежных зернопроизводящих территорий, и, по возможности, выделить районы с синхронным характером колебаний урожаев. В этих целях исчислены матрицы парных линейных коэффициентов корреляции между временными рядами отклонений урожаев пшеницы в штатах США, провинциях Канады и социалистических странах Западной Европы.

Как показывают расчеты для зернопроизводящей территории США, существует значимая на 95 %-ном доверительном интервале корреляция ($r > 0,29$) между колебаниями урожайности в главном регионе возделывания пшеницы — пшеничном поясе. Для озимой пшеницы зона, условно оконтуренная изокоррелятой $r = 0,30$, охватывает практически все районы производства сильной озимой пшеницы на Великих Равнинах. Наряду с этим можно выделить обширный район в южной части Великих Равнин, включающий площади под озимыми сортами в штатах Канзас, Небраска, Колорадо, Оклахома и Техас, внутри которого корреляция отклонений ΔU значима на 99 %-ном доверительном интервале ($r > 0,43$) и увеличивается для районов со сходным характером погодно-климатического режима. Например, коэффициенты корреляции между отклонением урожаев пшеницы в Канзасе и соседних территориях, включая Миссури, выше 0,6; для Оклахомы и Техаса коэффициент парной корреляции достигает значения $r = 0,81$.

Высокая корреляция колебаний урожаев озимой пшеницы отмечается в штатах кукурузного пояса, расположенных в Грассленде. Так, коэффициент корреляции r между динамикой отклонений ΔU в Миссури и Иллинойсе составляет 0,78. Одновременно для соседних территорий, расположенных в иных почвенно-климатических условиях, корреляция заметно убывает (например, для Иллинойса и Мичигана значение $r < 0,40$, для Индианы и Кентукки $r < 0,45$).

Еще к одному крупному региону с синхронным характером колебаний урожайности озимой пшеницы преимущественно мягких сортов следует отнести Северо-Восток США, территориально включающий штаты Нью-Йорк, Пенсильванию, Мериленд и др. Коэффициенты корреляции межгодовых отклонений ΔU в этом районе заключены в диапазоне $0,45 < r < 0,65$.

Для посевов мягкой озимой пшеницы, районированных на Юго-Востоке США, отмечается значимая на 99 %-ном доверительном интервале корреляция между отклонениями урожайности практически во всех территориальных единицах, входящими в зону влажного субтропического климата. Коэффициент корреляции между отклонениями ΔY при этом увеличивается от 0,5 вблизи северной границы зоны до 0,8 в приатлантических штатах. Для штатов Алабама, Джорджия, Южная Каролина значение r превышает 0,75. Наиболее высокая корреляция отмечена между отклонениями урожаев пшеницы в штатах Северная и Южная Каролина — $r = 0,83$.

Регион с однотипным характером колебания урожаев озимой пшеницы также прослеживается на Северо-Западе США. Он включает посевы культуры в штатах Вашингтон, Орегон и Айдахо. Корреляция между отклонениями ΔY в указанных штатах значима на 99 %-ном доверительном интервале и достигает значений r , равных 0,67.

Что касается сопряженности отклонений урожайности яровой пшеницы, посевы которой сконцентрированы в северной части Равнин, следует отметить наличие значимой на 95 %-ном доверительном интервале корреляции между колебаниями урожаев для всей зоны возделывания яровых сортов в центральной части США. Указанную зону можно условно оконтурить изокоррелятой $r = 0,3$, которая проходит по территориям штатов Миннесота, Висконсин, Южная Дакота и Вайоминг — т. е. практически по южной границе распространения яровых форм пшеницы на Равнинах. Внутри зоны выделяются районы с более высокой корреляцией отклонений урожаев, значимой на 99 %-ном доверительном интервале; значения коэффициентов корреляции при этом превышают $r = 0,6$. Наиболее высокая корреляция отмечается между колебаниями урожайности яровой пшеницы в штатах Северная Дакота и Монтана — $r > 0,78$.

Несмотря на локализованность посевов, статистически значимая корреляция отклонений урожаев яровой пшеницы также имеет место в западных штатах США: Вашингтоне, Орегоне, Айдахо, Юте, Колорадо (западная горно-долинная часть). Этот регион возделывания пшеницы можно условно ограничить изокоррелятой $r = 0,3$. Внутри региона выделяется область наиболее коррелируемых колебаний урожаев, которая включает территории соседних штатов Вашингтон и Орегон. Для этой области значения коэффициента корреляции r составляет более 0,6.

Анализ динамики межгодовых отклонений ΔY в регионах производства пшеницы на территории США указывает на отсутствие районов с выраженным асинхронным характером колебаний урожайности, хотя для отдельных административно-территориаль-

Таблица 3.2

Корреляционная матрица отклонений урожайности яровой пшеницы в провинциях Канады за период с 1910 по 1978 г.

Провинции	Новая Шотландия	Остров Принца Эдуарда	Нью-Брансвик	Квебек	Онтарио	Манитоба	Саскачеван	Альберта	Британская Колумбия
Новая Шотландия	1	0,20	-0,01	-0,13	-0,04	-0,14	-0,06	-0,04	-0,02
Остров Принца Эдуарда		1	0,34*	0,11	0,04	0,09	0,12	0,01	-0,18
Нью-Брансвик			1	0,32*	0,06	0,06	0,10	0,15	0,14
Квебек				1	0,12	0,17	0,12	0,12	-0,06
Онтарио					1	0,21	0,20	0,23	0,03
Манитоба						1	0,54*	0,33*	0,16
Саскачеван							1	0,71*	0,03
Альберта								1	0,13
Британская Колумбия									1

*Оценки r статистически значимые на уровне $\alpha = 0,05$.

ных единиц, расположенных в западной и восточной частях зерновой зоны, отмечается противоположность знака отклонений урожаев на рассматриваемом временном интервале.

Корреляция между отклонениями урожайности озимых и яровых форм культуры в пределах одних и тех же территориальных единиц США статистически значима, но, как правило, довольно низка, и не превышает значения $r = 0,5$. Последнее объяснимо различием приспособительных свойств и реакции озимых и яровых форм пшеницы к противостоянию засухе, факторам полегания и воздействию прочих неблагоприятных условий внешней среды.

Корреляция между отклонениями урожайности яровой пшеницы в провинциях Канады представлена в табл. 3.2. Как следует из анализа помещенных в таблице оценок, выделяются два региона, внутри которых наблюдается значимая на 95 %-ном доверительном интервале корреляция межгодовых колебаний уро-

жаев ($r > 0,23$). Первый регион включает приморские провинции Канады с условным центром в провинции Нью-Брансуик. Значения коэффициентов корреляции между динамикой ΔU в Нью-Брансуике и соседних провинциях Квебек и Остров Принца Эдуарда соответственно составляют $r = 0,32$ и $r = 0,34$. Ко второму региону сопряженных колебаний урожайности яровой пшеницы следует отнести степные (прерийные) провинции: Манитобу, Альберту и Саскачеван — $0,33 < r < 0,71$.

Поскольку значения коэффициента корреляции не всегда достаточно высоки по абсолютной величине, в целях уточнения характера сопряженности аномалий ΔU также проанализирована корреляция между сглаженными (3-х и 5-летними скользящими средними) отклонениями урожая. Результаты сравнений свидетельствуют о возрастании корреляции между сглаженными колебаниями ΔU в ряде случаев. Так, для Нью-Брансуика и Квебека значение r увеличилось до 0,57, Острова Принца Эдуарда и Новой Шотландии — до 0,33, Нью-Брансуика и Новой Шотландии — до —0,40. Для провинций прерий корреляция сглаженных отклонений соответственно составила: для Манитобы и Альберты $r = 0,48$, Манитобы и Саскачевана $r = 0,70$, Саскачевана и Альберты $r = 0,78$.

Тем не менее практически полное отсутствие корреляции имеет место между колебаниями урожая в Альберте и Британской Колумбии, поскольку значительная часть посевов пшеницы в Британской Колумбии размещена в межгорных долинах и возделывается при орошении. Довольно низка корреляция и между отклонениями урожая яровой пшеницы в Онтарио и соседних Квебеке и Манитобе, что связано с заметными различиями агрокли-

Таблица 3.3

Корреляционная матрица отклонений урожайности пшеницы в европейских странах-членах СЭВ за период с 1950 по 1983 г.

Страна	СССР	Польша	ГДР	ЧСФР	Венгрия	Румыния	Болгария
СССР	1	0,11	0,07	0,17	0,12	0,03	0,04
Польша		1	0,26	0,55*	0,05	0,09	-0,07
ГДР			1	0,46*	0,26	0,19	0,07
ЧСФР				1	0,35*	0,17	-0,16
Венгрия					1	0,74*	0,42*
Румыния						1	0,60*
Болгария							1

*Оценки r статистически значимые на уровне $\alpha = 0,05$.

матических условий произрастания культуры в удаленных друг от друга районах ее возделывания на территории указанных провинций. Сопряженность колебаний урожая разных форм культуры, главным образом представленных в провинции Онтарио, характеризуется значением коэффициента корреляции $r = 0,28$, для сглаженных величин корреляция возрастает до $r = 0,43$. Наряду с этим можно отметить присутствие определенной синхронности колебаний урожая озимых форм пшеницы в Онтарио и приозерном районе США (штаты Мичиган, Нью-Йорк) — $r = 0,5$. Для степной зоны Канады также прослеживается синхронность межгодовых отклонений урожая яровых форм пшеницы с соответственной динамикой ΔU в штатах пшеничного пояса (Северная Дакота, Монтана) — $r = 0,6$.

Степень связности колебаний урожайности пшеницы в зарубежном европейском регионе в определенной мере характеризует матрица коэффициентов корреляции отклонений урожайности в европейских странах — членах СЭВ (табл. 3.3). Как видно из приведенных оценок, можно выделить две группы государств, для которых отмечается синхронность хода межгодовых флуктуаций ΔU , вызванная однотипным характером атмосферных процессов, развивающихся над их территориями.

К первой группе следует отнести такие страны как ГДР, Польша и Чехословакия¹, где посевы пшеницы возделываются в условиях достаточного увлажнения, а характер атмосферных процессов главным образом формируется под влиянием Атлантики [55]. Например, для ГДР и Чехословакии синхронность колебаний урожайности пшеницы характеризуется значением $r = 0,46$, для Чехословакии и Польши $r = 0,55$. Более низкая корреляция (на пределе статистической значимости) имеет место между аномалиями ΔU в ГДР и Польше, что связано с удаленностью районов возделывания культуры на территории указанных стран (в ГДР посевы сконцентрированы на юго-западе; в Польше заметная доля посевных площадей приходится на центральные и юго-восточные воеводства).

Во вторую группу стран входят Болгария, Румыния и Венгрия, над территориями которых в теплый период года барические условия часто складываются под влиянием Средиземноморья, что в основном определяет погодные условия на Балканах и Среднедунайской низменности.

Для Болгарии и Венгрии корреляция межгодовых отклонений ΔU составляет $r = 0,42$, для Болгарии и Румынии $r = 0,60$. Кор-

¹Уточним, что на территории ЧСФР посевные площади пшеницы в основном сосредоточены в Чехии.

реляция увеличивается по мере близости расположения районов и схожести агроклиматических условий для произрастания пшеницы и достигает в случае Румынии и Венгрии максимального значения, равного 0,74. Для более удаленных зон выращивания культуры корреляция заметно уменьшается, а оценки выборочного коэффициента корреляции становятся сопоставимы с погрешностью их определения [86].

Отметим, что вышеприведенные значения r , полученные по отклонениям урожайности от агротехнических тенденций вида (2.2) и (2.3), в сравнении с их оценками, вычисленными по отклонениям от априорных трендов, по абсолютной величине выше в среднем на 10—15 %, что особенно существенно при анализе значимости парной корреляции. Предварительный анализ сопряженности отклонений урожаев в ряде других западноевропейских государств также позволяет проследить регионы с однотипным ходом колебаний ΔU во времени. К одному из таких районов следует отнести группу стран, имеющих выход к Атлантическому побережью и непосредственно граничащих друг с другом: ФРГ, Нидерланды, Бельгию, Северную часть Франции. Поскольку погодные условия здесь носят весьма сходный характер, это находит отражение в заметной синхронности флуктуаций урожайности: в среднем для региона $r > 0,4$.

Высокая корреляция между аномалиями урожаев пшеницы в Югославии (основные посевы сконцентрированы в автономном крае Воеводина) и Венгрии позволяют судить о наличии единого района с синхронными изменениями отклонений ΔU , который практически оконтуривает Среднедунайскую низменность. Синхронность межгодовых колебаний урожайности прослеживается и для некоторых других сельскохозяйственных территорий, расположенных в Западной Европе.

Вычисленные значения r указывают на отсутствие корреляции между отклонениями урожаев пшеницы в СССР и европейских странах, что объясняется существенным отличием типов циркуляционных процессов, наблюдающихся над обширной территорией нашей страны и над Западной Европой.

3.5. Засухи и динамика неурожая

Пока не касаясь статистических особенностей динамики колебаний урожаев, которые будут рассмотрены в следующем разделе, подойдем к анализу временных рядов отклонений таким образом, чтобы выделить снижения урожайности. За снижения урожайности можно условно принять спады, когда относительные значения

в сравнении с группой соседних лет составляют ниже —10 %. Объективность выбора указанной величины отклонения урожайности для агроклиматических исследований подтверждается, например, из работ [5, 98].

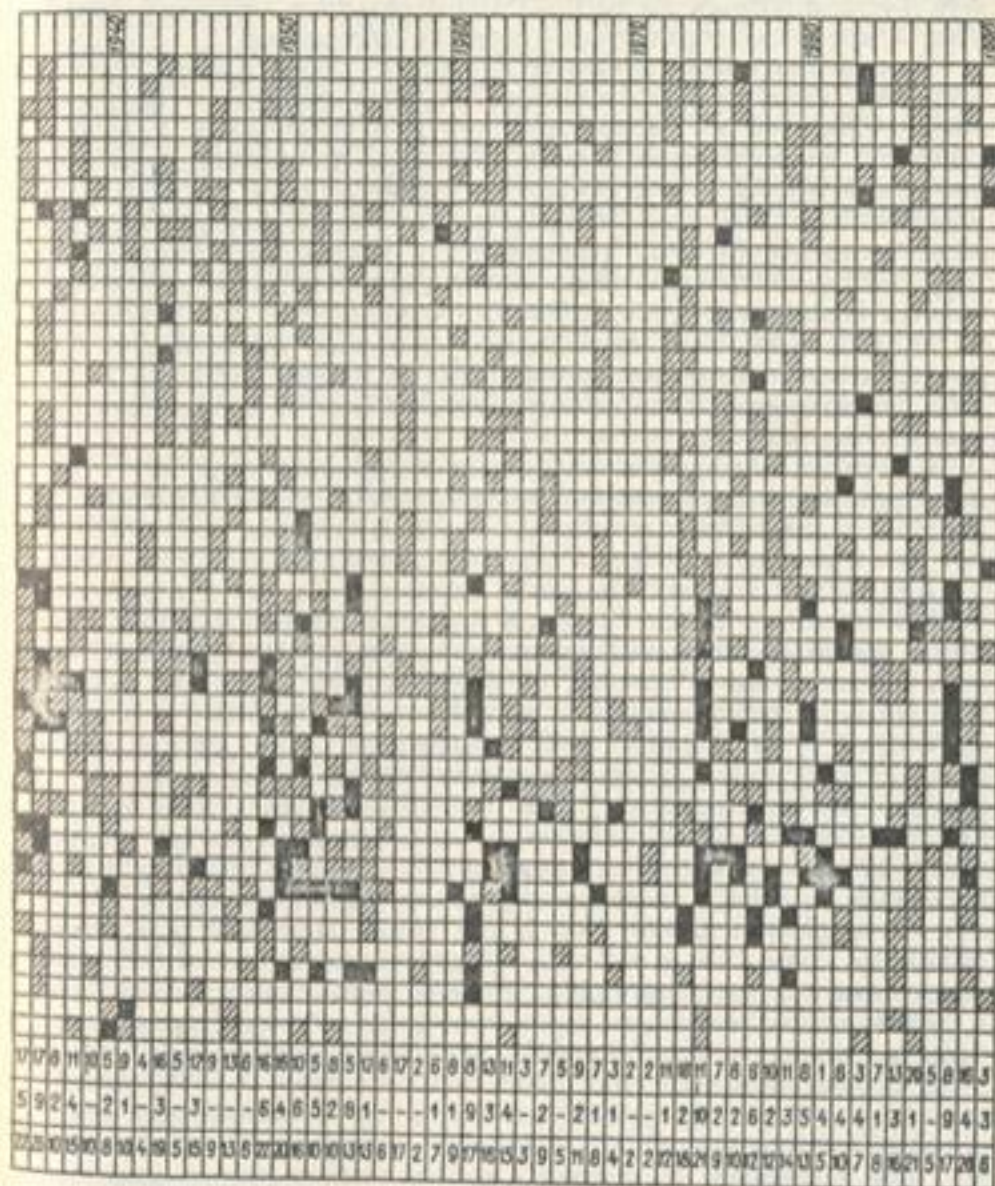
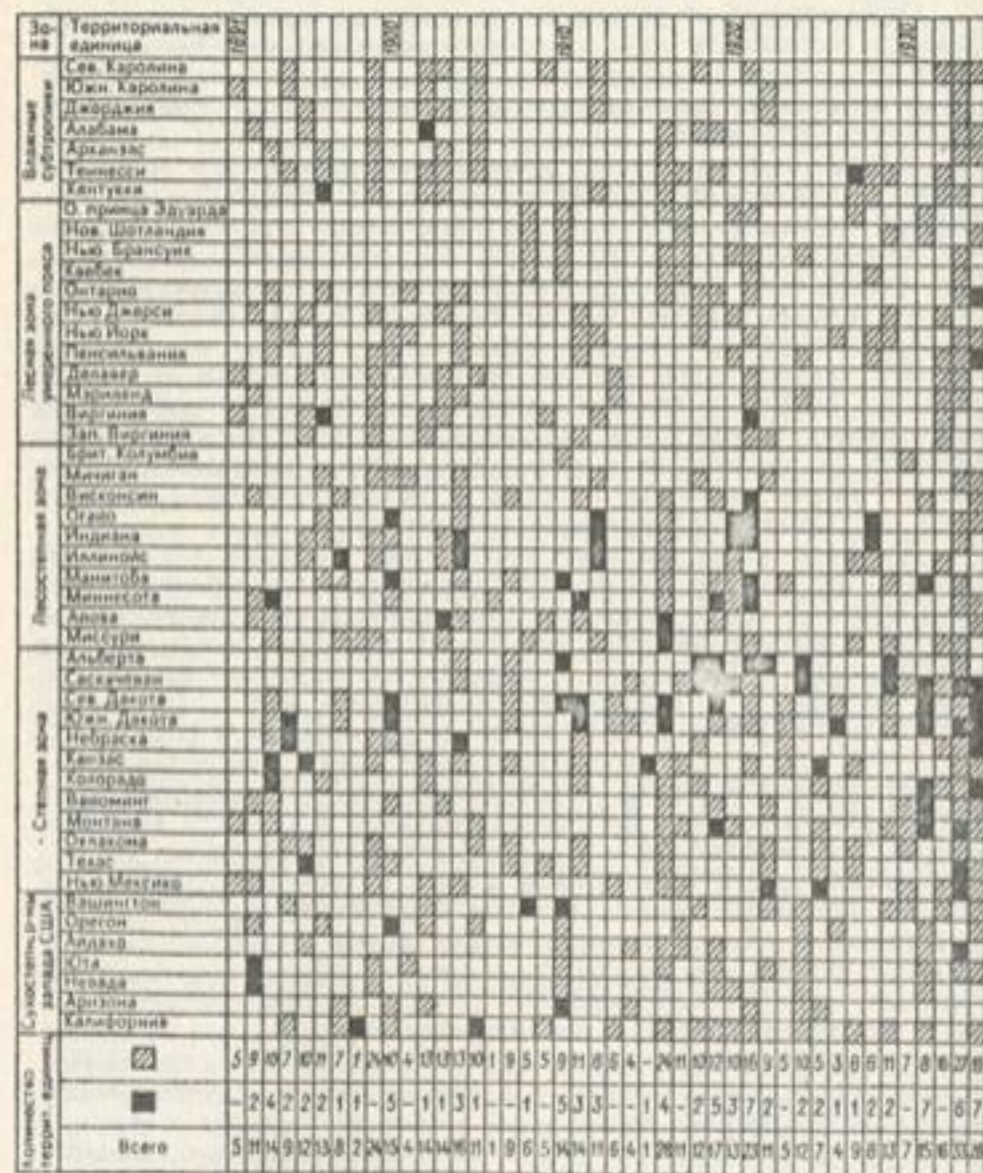
Отфильтровав на основе такого критерия временные ряды, мы сможем определить годы с пониженным урожаем. Естественно, выделив недороды, оставшуюся часть лет можно считать благоприятными или средними (удовлетворительными) в сельскохозяйственном отношении.

Наряду с понижениями урожайности, существуют и годы с резко выраженными недородами, когда значения ΔU могут снижаться более чем на 15 и 20 % относительно осредненного уровня. Обычно сильные спады урожайности связывают с засушливыми явлениями, эпизодическое возникновение которых является отличительной чертой агроклиматического режима основных районов товарного производства зерна.

Как подчеркивают многие исследователи, засуха — весьма сложное природное явление, имеющее различные стороны своего проявления. Поэтому при истолковании понятия засухи, в зависимости от приложения к конкретным сферам исследований, оно может носить различные оттенки — метеорологический, почвенный, агрономический и агроклиматический.

Наиболее часто развитие засушливого процесса над определенной территорией вызывается аномальными погодными условиями, которые характеризуются преобладанием антициклонической погоды, сопровождающейся незначительным выпадением осадков при высоких температурах и пониженной влажности приземного слоя воздуха, т. е. наблюдается атмосферная засуха. Некоторые механизмы ее формирования подробно рассмотрены в [15, 25, 41, 109, 190, 209]. Следствием атмосферной засухи, как правило, является почвенная засуха, обусловленная значительным снижением влагосодержания в корнеобитаемом слое почвы, что вызывает нарушение фотосинтеза и углеродного питания растений. Об интенсивности засух часто удобно судить по степени повреждения ими сельскохозяйственных культур и по конечным потерям хозяйственного урожая (агрономическая засуха). Наиболее емкое и краткое определение засухи, учитывающее разные стороны этого явления, дано О. А. Дроздовым: "... Под засухой следует понимать длительный период с превышением испарения над осадками, приводящий к истощению запасов воды в почве и тем самым сказывающийся на развитии, а в дальнейшем и на урожайности сельскохозяйственных культур ..." [41].

Хотя критериев засух существует достаточно много, как отмечает Дроздов, сведения об аномалиях урожаев могут явиться неплохим индикатором засушливости, если постараться более точ-



но учесть другую составляющую динамики урожайности — агротехнический фон. В определенной мере такое уточнение достигнуто нами на основе введения в расчеты информации о временных изменениях показателей агротехнологии зернопроизводства или учета особенностей регионального развития зернового хозяйства в крупных государствах северного полушария.

Рассматривая агроклиматический аспект проблемы воздействия засух на полеводство, состоящий главным образом в изучении закономерностей их распространения и повторяемости в разных природно-климатических зонах, обратимся к анализу динамики снижений урожаев в пространственно-временном разрезе. Для удобства пространственного представления о распространении недородов на исследуемых территориях в каждом неблагоприятном году можно подсчитать количество административно-территориальных единиц (областей, штатов, провинций и т. п.), в которых в той или иной мере происходили снижения урожайности. Характеристику повторяемости (частоты) недородов нетрудно получить, просуммировав число неурожайных лет за весь рассматриваемый период.

Благодаря обширности собранных материалов свод лет с пониженными урожаями можно представить в форме каталогов. В качестве иллюстрации в табл. 3.4 помещен каталог неурожайных лет для пшеницы в регионах североамериканского зернового пояса.

Для сопоставимости динамики неурожайных лет в отдельных частях зернового пояса Северной Америки территориальные единицы, расположенные в однотипных природно-климатических зонах, объединялись в группы. К первой группе относятся посевы пшеницы, сосредоточенные в лесной зоне умеренного климата, ко второй — во влажных субтропиках юга США. Третья представляет лесостепные регионы выращивания пшеницы, четвертая — степной континентальный район (пшеничный пояс США и прерии Западной Канады). Пятая — лесостепные, степные и пустынно-степные участки западных штатов. Такая градация одновременно позволяет дифференцированно подсчитать общее число лет с недородами ($\Delta Y > -10\%$), а также выделить резко неурожайные годы ($\Delta Y > -15\%$), обозначенные соответствующими символами. Из каталога видно, что как пониженные урожаи, так и значительные недоборы зерна пшеницы наблюдаются заметно чаще в районах с неустойчивым режимом увлажнения.

В обобщенном виде этот факт отражает табл. 3.5. Из приведенных в таблице результатов следует, что в лесной зоне североамериканского континента появление недородов почти вдвое реже, чем в степной. Во влажных субтропиках и лесной зоне бореального климата имеет место примерно одинаковая частота

снижений урожаев. Лесостепь по числу лет с пониженной урожайностью занимает промежуточное положение между лесной и степной ландшафтными зонами. Наиболее часто неурожай пшеницы отмечается на засушливых предгорьях Великих Равнин, расположенных на территории штата Нью-Мексико. За рассматриваемый период их насчитывается около 34.

Сильные недороды, носящие катастрофический характер, повторяются значительно более часто в степных континентальных районах и весьма редки в территориальных единицах, относящихся к лесной зоне. В среднем для территорий, расположенных в зоне влажных субтропических и бореальных лесов, сильный неурожай в течение 87 лет наблюдался всего один раз, и лишь в некоторых внутриконтинентальных областях дважды. Рассматривая повторяемость сильных недородов в степной зоне США и Канады, можно заметить, что в северной части Великих Равнин их появление наблюдается в 2 раза чаще в сравнении с центральной и южной. Такое на первый взгляд кажущееся противоречие объяснимо тем, что в северной части степной зоны сосредоточены посевы яровых форм пшеницы, как известно, более чувствительных к воздействию неблагоприятных погодных явлений (главным образом таких, как засухи). Кроме того, необходимо уточнить,

Таблица 3.5

Частота появления недородов пшеницы в регионах североамериканского зернового пояса за период с 1891 по 1978 г.

Природно-климатическая зона	Количество территориальных единиц	Число лет с понижением урожаев пшеницы в среднем для территориальной единицы	
		всего недородов	сильные недороды
Влажные субтропики юга США	7	18	1
Лесная зона бореального климата	9	18	1—2
Лесостепь	7	23	5
Прерии центральной и южной части Великих Равнин	6	27	7
Прерии северной части Великих Равнин	4	31	14
Сухостепные участки (юг Великих Равнин)	1	34	14

что территории центральных штатов пшеничного пояса (Канзаса, Оклахомы) частично попадают в лесостепную зону, что в целом сказывается на величине снижений урожайности в неблагоприятные годы и их повторяемости.

Что касается засушливых регионов Запада США, выделенных в каталоге, обращает внимание тот факт, что неурожайные годы здесь присутствуют несколько реже, чем в прерии Великих Равнин. Объясняется это тем, что в полуаридных областях богара чередуется с зоной искусственного полива, что дает возможность одновременно повышая урожайность, обеспечивать ее большую устойчивость.

В заключении рассмотрения табл. 3.5 следует пояснить, что при ее построении были использованы данные каталога только до 1978 г., и это вызывалось отсутствием в нашем распоряжении динамики урожаев пшеницы в провинциях Канады за более поздний период. Для представления однородности результатов, приводимых в таблице, также исключены короткие временные реализации по приморским провинциям, Квебеку и Британской Колумбии (в указанных провинциях сведения об урожайности существуют с 1910 г.). Ввиду отсутствия более ранних данных об урожаях, динамика недородов в Альберте и Саскачеване рассмотрена с 1901 г. Некоторая перестановка отдельных территориальных единиц внутри градации таблицы вызвана довольно спорными моментами при отнесении их к определенным природно-климатическим зонам. Например, территории штатов Мичиган, Висконсин, Огайо в каталоге отнесены к лесостепным районам на основе анализа картографических материалов о распространении растительных формаций и размещении посевов пшеницы [168, 212]. Все же в научных публикациях эти территории по ряду качественных признаков предпочитают относить к лесной зоне, в которой распространены дерново-подзолистые и бурые лесные почвы, чему в конечном итоге последовали и мы. Штат Небраска, ранее входящий в число степных регионов, перемещен в градацию „лесостепь“, поскольку посевы пшеницы сконцентрированы в восточной, лесостепной части штата; более западная засушливая часть входит в разряд малоиспользуемых земель с преобладанием песчаных почв и бедленда.

Наличие информации, представленной в каталоге, позволяет выделить, наряду с отдельными снижениями, периоды спадов урожайности. Для зернопроизводящих территорий Северной Америки можно насчитать несколько таких периодов. Первый — 1899—1904 гг. и второй — 1910—1912 гг. прослеживаются менее отчетливо. Последующие — 1916—1921, 1931—1938, 1949—1954, 1961—1965, 1972—1980 гг. выражены довольно четко. Однако в

рассматриваемых природно-климатических комплексах длительность периодов различна и имеет заметные смещения. В более увлажненной зоне периоды снижений иногда бывают весьма размыты — например, в 50-е и 60-е гг. Для континентальной части США и Канады, напротив, характерна резкая сконцентрированность неурожайных лет в 30-е гг., присутствуют они также в первой половине 50-х гг., середине 60-х гг. и в конце 70-х годов. В прерии Канады неурожайные годы группируются на временных отрезках: 1917—1924, 1929—1938, 1943—1951, 1957—1961 гг.

На фоне региональных снижений выделяются и годы, когда недороды отмечаются почти во всех природных зонах североамериканского континента. Недороды таких масштабов наблюдались в США и Канаде в 1899, 1916, 1921, 1933, 1936, 1949, 1950, 1961, 1974 гг. Кроме того, присутствуют годы, когда снижения происходили только в определенных сельскохозяйственных регионах. Так, во влажной зоне можно выделить, кроме указанных, 1896, 1938, 1943, 1957, 1972 гг. В пшеничном и кукурузном поясах США — 1892, 1910, 1911, 1919, 1920, 1939, 1959, 1967, 1978 гг.; в континентальной части Канады — 1904, 1945, 1954 гг. Наиболее сильные неурожай наблюдались в пределах североамериканского зернового пояса в 1892, 1910, 1916, 1921, 1933, 1936, 1949, 1954, 1961 и 1974 гг.

Остановимся подробнее на выявлении причин, вызывающих снижения урожайности пшеницы в производящих регионах Северной Америки. Очевидно, что к числу главных из них следует отнести воздействие засух и сопровождающих их явлений, а также избыточные осадки, приводящие к полеганию посевов¹. В этих целях проанализированы длительные временные ряды ежемесячных сумм осадков на сети метеорологических и агрометеорологических станций США и Канады, помещенные в [73, 165, 196] и дополненные [173]. Результаты сравнений позволяют установить, что основной причиной недородов является дефицит увлажнения как в период предшествующий вегетации (осенне-зимний), так и на протяжении ее главных фаз. Избыточные осадки в гораздо меньшей степени приводят к возникновению значительных потерь урожая.

Влияние избыточного увлажнения, вызывающего полегание посевов, носит зональный характер и уменьшается по мере продвижения в более сухие районы. Под действием данного фактора снижения конечного сбора зерна наиболее часто наблюдаются в

¹Отметим, что условия перезимовки озимых культур на североамериканском континенте в целом более благоприятны, чем на зерносеющей территории нашей страны.

Новой Шотландии (в среднем около 47 % случаев), но несколько более реже в других провинциях восточной Канады и в Приозерном районе. В лесостепной части Грассленда появление недородов в результате полегания в среднем не превышает 20 % случаев, во влажных субтропиках юга США — 12 %; в прериях Великих Равнин — 7 %, на засушливом Западе США — менее 2 %. Как показывают метеорологические данные по годам, влажные и избыточно влажные сельскохозяйственные сезоны в целом отмечаются чаще в период с конца XIX столетия до начала 30-х гг. и реже в более поздние десятилетия. Поэтому и снижения урожайности под действием фактора полегания прослеживаются более часто на указанном временном интервале. К избыточно влажным годам, когда наблюдались потери урожая одновременно в нескольких территориальных единицах, можно отнести 1908, 1912, 1917, 1929, 1944, 1955, 1973 гг.

Проявление воздействия засушливых явлений в зависимости от климатических условий выделенных групп регионов имеет также свои особенности. Так например, во влажной зоне Канады и Северо-Востока США недороды пшеницы в большей мере вызваны дефицитом летних или весенне-летних осадков. Для влажных субтропиков юга США основная причина лежит в дефиците как зимне-весенних, так и осенних осадков предшествующего года. Причем количество последних определяет интенсивность осенних засух, как правило, непродолжительных, но обычно наблюдаемых в октябре или ноябре. Основным фактором потерь урожая по годам в лесостепи является недостаток зимних или весенне-летних осадков, приводящих к возникновению засушливых явлений во время интенсивной вегетации хлебных злаков. Неурожаи пшеницы озимых и яровых форм в степной зоне обычно вызываются периодическим возникновением дефицита атмосферного и почвенного увлажнения в течение всего сельскохозяйственного сезона (и в предшествующий ему период) при относительно низкой норме осадков. Следует отметить, что практически все ранее перечисленные периоды и годы снижения урожайности пшеницы попадают в градацию засушливых лет.

Для проверки достоверности выделенных неурожайных лет как засушливых, их пространственно-временная хронология сопоставлена с каталогом засух в штатах США с 1895 по 1981 г. по Х. Диазу. Спады урожайности пшеницы в провинциях Канады — с показателем засушливости А. Коннора [178], аналогичным гидротермическому коэффициенту (с 1891 по 1932 г.), затем с наблюдениями за температурой воздуха и осадками из [173].

Проведенное сравнение позволяет заключить о достаточном согласовании между наличием засушливых лет и появлением недородов в разных природно-климатических зонах. Между тем,

анализируя каталог Диаза, который позволяет определить годы возникновения засух с учетом их градации, можно заметить, что в ряде случаев существует временное запаздывание появления недородов (как правило, недород возникает на следующий после засухи год). Такое запаздывание характерно для регионов, где часто наблюдаются осенние засухи (юго-восточные штаты США, некоторые штаты Северо-Востока и лесостепной зоны). Необходимо также уточнить, что свод неурожайных лет несколько шире каталога Диаза. Это вызвано тем, что часть недородов обусловлена влиянием избыточного увлажнения. К тому же, по нашему мнению, в указанном каталоге годы с дефицитом атмосферного увлажнения учтены не всегда, что, например, следует из других независимых американских источников.

Свод неурожайных лет для зерносеющей территории СССР представляет информацию о снижениях урожайности пшеницы преимущественно яровых форм в районах производства на ЕЧС и АЧС с 1883 по 1980 г. Ввиду громоздкости представления данных в виде каталога, ограничимся словесным описанием динамики неурожаев. Что касается дореволюционной статистики недородов, полученные нами результаты не позволяют проследить наличие достаточно выраженных периодов спада урожаев. Скорее здесь присутствуют отдельные неблагоприятные в сельскохозяйственном отношении годы или группы из двух (реже из трех) неблагоприятных лет. Так, в нечерноземных губерниях и уездах Европейской части России неурожаи имели место в 1884, 1885, 1888, 1890 гг.; в черноземной полосе — в 1885, 1890, 1891, 1892, 1897, 1898 гг. В начале столетия сильные недоборы зерна пшеницы на востоке ЕЧР наблюдались в 1901, 1906, 1911, 1914 гг. (в 1906 г. наряду со степными губерниями и в Волго-Вятском крае). Относительно 1910 г. можно отметить, что снижение урожайности в этом году происходило почти во всех губерниях нечерноземной зоны.

Информация об урожайности в губерниях Азиатской части России довольно скудна. Однако 1901, 1906 и 1911 гг. как неурожайные можно выделить вполне уверенно.

Период с 1917 по 1921 г. характеризуется общим спадом урожаев яровой пшеницы как на Европейской территории СССР, так и в примыкающих зерновых районах Западной Сибири и Казахстана. В центральночерноземных областях и сопредельной части Украины значительные снижения ($\Delta U > -15\%$) отмечены в 1917 и 1918 гг. Крайне неблагоприятная обстановка сложилась в 1920 и 1921 гг., когда сильные неурожаи охватили Поволжье, степную Украину, Северный Кавказ, Западную Сибирь и Казахстан. Недобор зерна пшеницы в лесостепной и степной зонах

ЕЧС наблюдался также в 1924 г. — недородами было охвачено около 20 областей.

Неблагоприятными для выращивания пшеницы оказались 30-е гг. В 1931 г. возникновение недородов происходило на всей зернопроизводящей территории страны, но наибольшей силы они достигали в южных областях Украины, в Среднем и Нижнем Поволжье, Казахстане. В 1934 г. неурожаями охвачены Донецко-Приднепровский экономический район УССР и Нижнее Поволжье. Сильные неурожай ($\Delta Y > -20\%$) отмечались также в 1936 и 1938 гг.

Недобор продукции яровой пшеницы имел место и в последующих десятилетиях. На протяжении 40-х годов как неурожайные выделяются 1943, 1945, 1946, 1949 гг. За исключением 1945, 1949 гг., когда недородами в основном была охвачена степная зона, в остальные годы они наблюдались и в более увлажненных территориях. В начале 50-х гг. на Европейской части страны годами с выраженными недородами являются 1953 и 1954 гг. (на Азиатской части — 1955 г.). Во второй половине 50-х годов снижения урожайности характерны для Поволжского и Уральского экономических районов РСФСР.

В первой половине 60-х гг. спады урожаев на ЕЧС (за исключением большей части Украины и Нечерноземья) происходили в 1961 и 1963 гг. Во второй половине 60-х гг. — главным образом на АЧС — в 1965, 1967, 1968 гг. Отличительной чертой 70-х гг. (наряду с высокими урожаями) также является присутствие значительных недоборов зерна пшеницы, которые имели место в 1972, 1975, 1977, 1979 гг. Так, в 1972 г. потери урожая наблюдались в основном на Европейской территории СССР ($\Delta Y > -12\%$), в 1975 г. — во всей зернопроизводящей зоне страны ($\Delta Y > -15\%$), в 1977 г. — только в отдельных областях Поволжского экономического района. Год 1979 характеризуется недородами на ЕЧС как в черноземной зоне, так и в Нечерноземье.

В послевоенный период наиболее сильные недороды пшеницы наблюдались в зоне сухого земледелия в 1946, 1948, 1954, 1957, 1963, 1965, 1972, 1975, 1979 гг. В зоне устойчивого полеводства снижение урожайности происходило в 1948, 1953, 1961, 1980 гг. [88].

Хотя динамика снижений урожаев пшеницы в регионах зернопроизводства СССР (включая сведения по дореволюционной России) представлена в довольно сжатой и обобщенной форме, она вполне убедительно свидетельствует о выраженной зависимости объемов сбора зерна от изменчивости погодных условий. При этом количество лет, отнесенных к разряду появления сильных недородов, на территории нашей страны примерно в 1,5 раза пре-

вышает соответствующее их количество в зернопроизводящих районах североамериканского континента. Отчасти, это вызвано тем, что при анализе потерь в качестве их индикатора использована урожайность преимущественно яровых форм пшеницы, чувствительных к воздействию неблагоприятных внешних условий. Отчасти обусловлено уровнем культуры земледелия, определяющим степень противостояния последним.

При рассмотрении причин возникновения недородов длительная динамика отрицательных аномалий урожаев сопоставлена с ежегодными значениями гидротермического коэффициента и индекса Педя в областях основной сельскохозяйственной зоны СССР из [77]. Можно отметить, что в целом влияние избыточного увлажнения отражается в снижениях урожаев на более ограниченных территориях и значительно реже в сравнении с воздействием дефицита атмосферной и почвенной влаги. Так, например, за период с 1945 по 1980 г. спады урожайности, вызванные полеганием посевов в результате избыточного количества осадков, наблюдались в нечерноземной зоне ЕЧС всего 4 раза. В 1948 г. недоборы зерна имели место главным образом в Белоруссии, на северо-западе России и в прибалтийских республиках. В 1953 г. преимущественно в Центральном районе РСФСР и Белоруссии. В 1961 г. — в Прибалтике; в 1980 — почти повсеместно в Нечерноземье Европейской территории СССР. В основных зернопроизводящих районах страны снижение урожая пшеницы под влиянием избыточного увлажнения наиболее отчетливо прослеживается только в 1969 г.

Несравнимо больший эффект воздействия на неустойчивость урожаев во времени оказывает дефицит увлажнения на протяжении вегетации и в период предшествующий ей. И это проявляется в том, что в подавляющем большинстве случаев снижения урожайности пшеницы соответствуют изменениям величины ГТК и S_1 в сторону указания на засушливость. Динамика неурожайных лет также сопоставлена с хронологией засух, в наиболее обобщенной форме представленной в работе О. А. Дроздова [41]. Необходимо подчеркнуть, что благодаря детальности сведений о засухах, помещенных в каталоге Дроздова, выделенные аномалии урожайности (за исключением случаев полегания посевов) полностью попадают в градицию засушливых лет.

Вопросам влияния засух на урожай посвящено достаточно много публикаций в отечественной литературе, начиная с послевоенных статей П. И. Броунова и М. И. Семенова и заканчивая последними изданиями ГМЦ и ВИР. Среди исследований, касающихся агроклиматического аспекта проблемы, наряду с работами О. А. Дроздова, необходимо особо выделить ряд публикаций Г. Т. Селянинова, А. М. Алпатьева, Ф. Ф. Давитая, А. И. Руденко, В. А. Смирнова, Ю. Л. Раунера [6, 36, 118, 119, 121, 133].

Таблица 3.6

Повторяемость неурожаев пшеницы под воздействием засух в природно-ландшафтных зонах северного полушария (%)

Природно-ландшафтная зона	Западная Европа	США, Канада	СССР
Зона бореальных лесов	5	14	10
Лесостепная	16	20	23
Степная	24*	36	40
Сухостепная	—	40	50

*Для расчета использованы отрицательные аномалии урожаев пшеницы в Румынии, где наряду со степными распространены и лесостепные ландшафты.

Как известно, Г. Т. Селяниновым установлены основные закономерности распространения засух применительно к вопросам агроклиматического районирования территории СССР. Впоследствии этот подход был развит в исследованиях других авторов. Серия работ Ю. Л. Раунера посвящена изучению статистической структуры периодичности возникновения засух в разных природно-географических регионах нашей страны и в ряде иностранных государств.

Остановившись на работах А. М. Алпатьева, следует упомянуть, что в них дается территориальная оценка воздействия засух на полеводство на протяжении длительного временного интервала. Автором проведено сравнение границ распространения засух на ЕЧС в неблагоприятные в сельскохозяйственном отношении годы, начиная с 1890. Как обобщение полученных результатов представлена повторяемость засушливых явлений, определенная на основе совместного учета как агрономического критерия засухи (снижение урожайности), так и агроклиматического ее показателя (в данном случае выбранного значения ГТК).

Располагая динамикой неурожайных лет для пшеницы и учитывая основные причины снижения урожайности, нетрудно подсчитать количество лет с недородами, вызванными распространением засушливых явлений в пределах зернопроизводящих территорий и регионов. Представляется целесообразным объединить исследуемые нами территории по природно-ландшафтному признаку, тем самым подчеркнув их агроклиматические особенности для произрастания посевов культуры. Количество неурожайных лет в каждой из выбранных природно-ландшафтных зон можно выразить в виде %, условно приняв столетний период за 100 %. Так, например, табл. 3.6 иллюстрирует повторяемость неурожаев пше-

ницы (в %) под воздействием засух в природно-ландшафтных зонах северного полушария, включающих регионы возделывания в Западной Европе, США и Канаде, СССР. Для построения таблицы использованы расчетные данные отклонений урожайности от агротехнических трендов в европейских социалистических странах, а также в административно-территориальных единицах США, Канады и Союза ССР.

Сопоставление приведенных в таблице результатов позволяет проследить закономерное возрастание повторяемости неурожаев в направлении от более увлажненных зон к более сухим. Одновременно с этим присутствует тенденция к увеличению числа неурожайных лет по мере роста континентальности климата, приобретающего черты засушливости. По этой причине количество недородов в одних и тех же природно-ландшафтных зонах однонаправленно возрастает от региона Западной Европы к зернопроизводящей зоне нашей страны. В отличие от данных табл. 3.5 повторяемость сильных недоборов, обусловленных интенсивными и продолжительными засухами, несколько иная. Как показывают расчеты, в зоне бореальных лесов она составляет в среднем около 2 %, в степной и сухостепной зонах СССР, США и Канады — свыше 25 %.

В заключение рассмотрения пространственно-временной структуры неурожайных лет подведем итог полученным нами результатам в виде нескольких наиболее важных выводов:

1. Выделенная динамика неурожайных лет для пшеницы не противоречит хронологии засух, в наиболее обобщенной форме представленной для территории СССР в работах О. А. Дроздова и Ю. Л. Раунера, для территорий США и Канады — в исследованиях Х. Диаза и А. Коннора. Приведенный свод лет с недородами в регионах североамериканского континента позволяет наглядно проследить распространяемость неблагоприятных погодных явлений, воздействие которых сказывается на колебаниях урожайности по годам в целом для территорий Канады и США.

2. Одной из особенностей динамики неурожаев в зернопроизводящих зонах северного полушария является наличие периодов значительных спадов урожайности, связанных с характером режима увлажнения на протяжении ряда лет. Следует отметить, что 30-е годы текущего столетия явились периодом, наименее благоприятным для выращивания зерновых в умеренных широтах полушария. Об этом свидетельствуют как выраженные отрицательные аномалии урожайности, так и максимальное количество территориальных единиц с наблюдаемыми недородами. Анализируя спады урожайности и особенности погодно-климатических условий на протяжении 30-х годов, можно уверенно предположить, что учащение недородов в этот период обусловлено эффектом имевшего место потепления, поскольку факторы снижения уровня урожаев, вызванные экономическими причинами, ранее устранены.

3. Отличительной чертой динамики неурожая в последующих десятилетиях также является присутствие выраженных неурожайных лет, когда на фоне роста валовых сборов наблюдаются значительные недоборы зерна (например, в 70-е гг.). Последний факт указывает на то, что даже в условиях высокого уровня агротехнологии, влияние погодных и климатических факторов на изменчивость объемов сбора зерна продолжает оставаться весьма существенным или по крайней мере оно не ослабевает.

4. Несмотря на удаленность двух крупных зернопроизводящих зон, выделяются и годы с одновременным появлением недородов в их пределах. На протяжении текущего столетия к таким годам относятся: 1911, 1921, 1931, 1933, 1936, 1938, 1943, 1949, 1954, 1961, 1963, 1979. Некоторая синхронность такого рода, по-видимому, объяснима однотипным характером атмосферной циркуляции, проявляющимся в умеренных широтах как над евразийским, так и над североамериканским континентами.

В дальнейшем по мере накопления новых материалов и их доступности для анализа динамика недородов пшеницы была продолжена до конца 80-х годов. Следует отметить, что происходящие в настоящее время изменения агроклиматического режима все в большей мере находят отражение в межгодовых колебаниях сборов главных продовольственных культур. В связи с этим в пространственно-временной картине возникновения недородов на протяжении 80-х гг. начинают проявляться характерные особенности, на рассмотрении которых остановимся в разделах главы 5.

3.6. Спектральный анализ временных рядов аномалий урожайности

При рассмотрении статистических особенностей характера колебаний урожайности наибольший интерес для анализа представляют длительные временные реализации отклонений урожаев относительно достигнутых агротехнических уровней. Однако в силу объективных причин для многих районов товарного производства зерна уже изначально не представляется возможным располагать однородным и непрерывным фактическим материалом даже за пятидесятилетний период. Так, недостаточная полнота данных за военные годы существенно затрудняет анализирование долгопериодных колебаний урожайности под влиянием изменений агроклиматического режима в районах зернопроизводства нашей страны.

Между тем для части сельскохозяйственных территорий северного полушария может быть получена достаточно длительная и однородная информация о межгодовых флуктуациях урожаев.

Как уже упоминалось, нами рассчитаны ежегодные аномалии урожайности пшеницы в производящих штатах США и провинциях Канады, которые представляют собой непрерывные выборки, охватывающие период более 77 лет. Учитывая то обстоятельство, что природно-климатические условия для возделывания пшеницы во внутриконтинентальных районах Северной Америки и нашей страны имеют ряд сходных черт, остановимся подробнее на анализе статистической структуры колебаний урожаев в зерновых регионах США и Канады, рассматривая их в качестве определенных аналогов районам производства пшеницы на территории СССР.

Многолетние ряды относительных отклонений $\pm \Delta U$ (%) в первом приближении можно рассматривать как стационарные, поскольку основной длиннопериодный компонент изменчивости урожаев (агротехнический тренд) в них исключен. Как известно, стационарность временного ряда определяется двумя необходимыми и достаточными условиями: постоянством математического ожидания на всем временном интервале и зависимостью корреляционной функции $R(\tau)$ только от временного сдвига τ [112]. В работе [92] показано, что в исследуемых реализациях в определенной степени выполняются оба условия. С этой целью производилось сопоставление статистических характеристик временных рядов ΔU в 38 территориальных единицах основной зернопроизводящей зоны североамериканского континента за период с 1891 по 1984 г. (чуть короче для провинций Канады) и за более короткий временной промежуток — с 1931 по 1978 г. Как свидетельствуют результаты вычислений, значения выборочных средних во всех случаях оказались близки к нулю с достаточной степенью точности; отличие стандартных отклонений σ на выбранных временных интервалах также незначительно. Внутрирядовая корреляция при этом убывает по мере возрастания сдвига τ . Поэтому, исходя из вышесказанного в целях выявления особенностей колебаний урожайности под действием погодно-климатических факторов, к рядам относительных отклонений ΔU , рассматривая их в качестве стационарных случайных процессов, применен аппарат гармонического разложения случайных функций.

Для расчета спектральных характеристик рядов отклонений урожаев пшеницы предварительно производилось их сглаживание с помощью регрессионных фильтров, что позволило снизить мощность высоких частот и получить более достоверную картину распределения остаточной дисперсии по всему спектру. Для демонстрации характера изменения мощности низких частот, обусловленного фильтрацией (исключением тренда), в [92] приведен расчет периодограммы $H(\omega)$ как для исходного ряда фактической урожайности, так и для ряда отклонений урожаев в Северной

Дакоте — ведущем по производству твердой яровой пшеницы штате США. Из сравнения следует, что в варианте реализации, относящейся к отклонениям, мощность низких частот существенно снизилась, при этом полностью устранены колебания с периодом более 47 лет.

При определении устойчивости спектральных оценок для временных рядов ΔU параллельно производилось два расчета: по выборкам длительностью в 94 года и более коротким реализациям в 47 лет. Как показывает сравнение полученных результатов, спектры исследуемых временных рядов неустойчивы во времени. Тем не менее необходимо отметить, что для некоторых временных выборок, относящихся к континентальной зоне, спектры содержат небольшие особенности, которые заключаются в увеличении мощности колебаний в низких частотах с периодами, соответствующими десяткам лет (в основном в интервале от 10 до 25 лет).

Проведенный анализ спектральных функций $i(\omega)$ также показал, что в большинстве случаев изменчивость урожая во времени обусловлена белым шумом. В качестве примера таких реализаций на рис. 3.5 а приведена спектральная функция ряда межгодовых отклонений урожая в Британской Колумбии (Канада). Между тем, для части вариантов расчета оказалось, что выборочные значения $i(\omega)$ могут существенно отклоняться от теоретической прямой, характеризующей белый шум, располагаясь вблизи 99 %-ной доверительной границы для белого шума или выходить за ее пределы. В частности, 95 %-ной доверительной границы и выше ее достигают оценки $i(\omega)$ временных рядов относительно аномалий ΔU в некоторых степных провинциях Канады и штатах пшеничного пояса. Выход за 99 %-ный доверительный интервал наблюдается преимущественно для регионов засушливой части Великих Равнин и Запада США: штатов Вайоминг, Колорадо, Нью-Мексико, Айдахо, Юта. Это имеет место как для длительных, так и более укороченных вариантов расчета.

В качестве примера реализаций, не являющихся чисто белым шумом, могут служить временные ряды отклонений урожая в Канзасе и Айдахо, спектральные функции которых изображены на рис. 3.5 б, в.

Анализируя корреляционные функции указанных временных рядов, следует отметить, что закономерности убывания первых запаздываний свидетельствуют о присутствии в данных реализациях некоторого стационарного марковского процесса. Поэтому в качестве приближенных моделей временных рядов отклонений урожайности пшеницы в Канзасе, Айдахо и других вышеперечисленных территориях в общем случае можно принять случайный процесс вида: „белый шум плюс стационарный марковский слу-

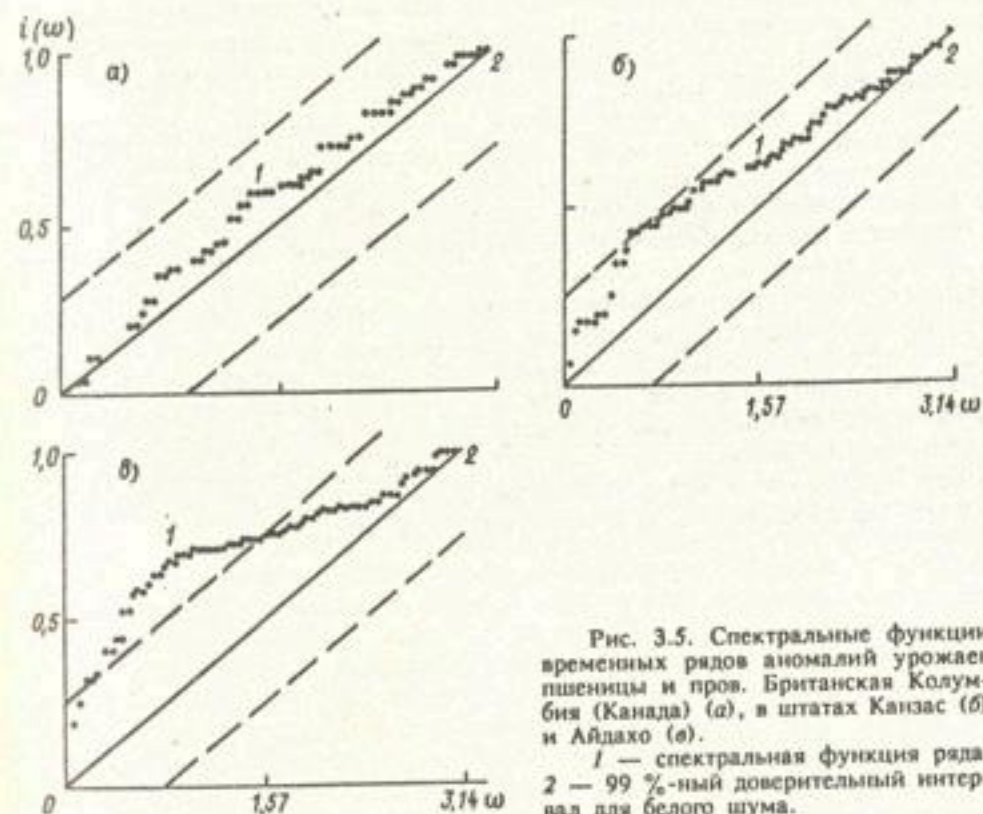


Рис. 3.5. Спектральные функции временных рядов аномалий урожая пшеницы и пров. Британская Колумбия (Канада) (а), в штатах Канзас (б) и Айдахо (в).
1 — спектральная функция ряда, 2 — 99 %-ный доверительный интервал для белого шума.

чайный процесс”. Модели временных рядов отклонений урожая в некоторых территориальных единицах США приведены в [92].

Подходя объективно к полученным результатам и в то же время оценивая критически некоторые из них, изложим в краткой форме следующие заключения:

— проведенный анализ спектральных и корреляционных характеристик исследуемых временных рядов показывает, что в большинстве случаев динамика аномалий урожая пшеницы в регионах США и Канады представляет собой выборки белого шума;

— несмотря на то что спектры некоторых реализаций и содержат небольшие особенности в низких частотах, утверждать о статистической значимости отдельных пиков нет оснований, поскольку спектральные характеристики не устойчивы в пространстве и времени. Следует полагать, что особенности спектров в низких частотах, характерные для выборок аномалий ΔU в засушливой зоне, не связаны с причинами климатического характера, а обусловлены главным образом влиянием на изменчивость

урожаев искусственного орошения, все более широко применяемого в полуаридной зоне. Высказанное предположение, к примеру, согласуется и с материалами, публикуемыми в американских источниках [206, 212];

— кроме того, следует учесть, что на спектральные характеристики оказывает влияние и способ фильтрации, от которого зависят размеры спектрального „окна“. В этом отношении наряду с регрессионными фильтрами, используемыми при анализе, представляется целесообразным рассмотреть и возможность применения некоторых других способов фильтрации, в частности, основанных на учете изменения основных характеристик, определяющих состояние климатической системы;

— для реализаций, не являющихся белым шумом, можно построить приближенные модели временных рядов вида „белый шум плюс стационарный марковский случайный процесс“. Отметим также возможность экстраполяции данных временных выборок (включая и исходные ряды фактической урожайности) на основе построения их авторегрессионных моделей.

Глава 4. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОЖАЕВ И ФАКТОРЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА

4.1. Показатели погодно-климатической изменчивости урожайности

Рассматривая динамику флуктуаций урожаев на фоне агротехнических трендов, мы обратили внимание на то, что в целом величина стандарта (среднеквадратического отклонения) $\sigma_{\Delta Y}$ заметно меняется не только в зависимости от выбора той или иной зерновой культуры, но может существенно различаться и для определенного вида культурного растения в региональном разрезе. Наличие последнего факта безусловно связано с неоднородностью погодно-климатических условий, формирующихся на обширных территориях, и эта неоднородность отражается в пространственном характере колебаний урожайности. В связи с этим возникает практически важный вопрос: оценить степень варьирования урожаев во времени и пространстве под воздействием указанных причин с помощью статистических показателей, характеризующих уровень неустойчивости исследуемого процесса.

В агрометеорологии и экономике зернового хозяйства предложен ряд показателей, используемых в качестве меры изменчивости урожаев, однако суть всех их примерно одна. Она сводится к определению величины дисперсии σ^2 отклонений ΔY от агротехнической составляющей для исследуемой временной реализации и разница состоит лишь в том, в какой форме представлены эти показатели. Исследуя закономерности динамики урожаев в дореволюционной России, В. М. Обухов ввел показатель „колеблемости вокруг эволюторного уровня“, относя стандарт $\sigma_{\Delta Y}$ к средней урожайности за рассматриваемый период. В работах Обухова представлена „география колеблемости урожаев“ серых хлебов (ржи и овса) и в целом зерновых по губерниям Европейской России, на основе которой выделено пять районов с разной устойчивостью урожайности [98]. Некоторые из исследователей, например Н. С. Четвериков, для оценок изменчивости урожаев предпочли пользоваться непосредственно величиной $\sigma_{\Delta Y}$ безотносительно к средней урожайности или использовали величину σ относительных отклонений $\Delta Y/Y$, $\Delta Y/y_p$ [156, 161]. В дальнейшем С. И. Бараш, следуя В. М. Обухову, произвел градацию Ев-

ропейской территории СССР по признаку устойчивости урожаев озимой и яровой пшеницы, полученному на основе статистической обработки фактических данных за период с 1950 по 1976 г. Им рассчитан „коэффициент устойчивости“ k , дополняющий „показатель колеблемости“ Обухова до 100 %, и выделены группы областей со значительной, средней, ниже средней, незначительной и очень малой устойчивостью урожайности [13].

Выявлению пространственных закономерностей изменчивости урожаев в связи с особенностями климата сельскохозяйственных территорий посвящен ряд публикаций В. М. Пасова [105, 106, 107]. Для оценивания погодно-климатической изменчивости урожайности Пасовым предложен коэффициент C_m , исчисленный по формуле

$$C_m = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2 - \sum_{t=1}^n (y_{pt} - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (4.1)$$

где y_t — фактическая урожайность в t -й год, y_{pt} — агротехническая составляющая динамики урожаев, $\bar{y}$ — средняя хозяйственная урожайность, n — количество рассматриваемых лет.

Указанная формула получена из предположения, что дисперсию фактической урожайности σ_y^2 можно рассматривать как сумму двух слагаемых, одно из которых отражает вклад, вносимый динамикой фона агротехнологии — σ_a^2 , другое определяется изменчивостью погодных условий — σ_m^2 . Осуществив соответственные преобразования σ_y^2 и σ_a^2 , нетрудно возвратиться к представленному выше выражению (4.1). Следует учесть, что при выведении формулы (4.1) также допускается, что корреляционной связностью между факторами, определяющими доли σ_y^2 , можно пренебречь. Справедливость данного допущения подтверждается из анализа сопряженности между изменениями динамики агротехнических и погодных факторов (например, ежегодных доз вносимых минеральных удобрений, количества выпадающих осадков по годам и др.).

Для расчета оценок погодно-климатической изменчивости урожаев зерновых культур в основной сельскохозяйственной зоне СССР (ЕТС, Казахстан, Западная Сибирь, республики Средней Азии и Закавказья), В. М. Пасовым использована информация о

фактической урожайности за период с 1945 по 1970 г. С помощью показателя C_m выделены три зоны, существенно различающиеся по оценкам изменчивости: устойчивая, умеренно устойчивая и неустойчивая. Показаны связи пространственной вариации C_m с изменением режима атмосферного увлажнения. Упомянутым автором также оценена устойчивость урожаев сельскохозяйственных культур для некоторых зарубежных территорий и государств.

Проведенное сравнение оценок изменчивости урожайности по показателям, предложенным разными авторами, в целом свидетельствует об определенной близости полученных результатов для однородных территорий и сходстве картин распределения устойчивости урожаев в пространстве. Наряду с этим, однако, отмечаются и заметные расхождения в оценках устойчивости для отдельных районов, даже в тех случаях, когда оценки рассчитаны на весьма близких временных интервалах. Кроме того, для приведенных оценок характерна схематичность их представления при не всегда оправданном (с агроклиматической точки зрения) проведении границ раздела зон с разной устойчивостью урожайности.

Существенно важным при уточнении характера пространственных закономерностей варибельности урожаев зерновых культур, по нашему мнению, могут явиться следующие моменты. Первый из них заключается в более достоверном выявлении погодно-климатической составляющей динамики урожаев, и таким образом, состоит в оптимальном подборе тенденции, отражающей действие факторов агротехнологии на прирост урожайности. При отсутствии информации об изменениях агротехнических показателей во времени целесообразно применять достаточно широкий класс плавных аналитических функций, выбирая для каждого конкретного варианта расчета ту из них, с помощью которой удастся добиться максимального снижения дисперсии отклонений Δy относительно тренда. Резкое ограничение вида применяемых функций или выбор одной определенной функции для описания тренда в конечном счете может привести к искажению картины изменчивости урожаев. Так, например, использование С. И. Барашем только степенной функции в качестве формы тренда, по всей видимости, явилось причиной некоторого завышения показателя неустойчивости урожайности яровой пшеницы в областях Южной Украины и на Юго-Востоке ЕЧС.

Второй момент связан с пространственным представлением оценок изменчивости урожаев. Во всех упомянутых выше работах оценки изменчивости отнесены к контурам административно-территориальных единиц. При этом границы зон с разной колеблемостью урожайности совпадают с административными границами групп областей или крупных районов, выделенных по признаку устойчивости соответственным видом штриховки на картах.

В результате этого проведенная градация регионов приобретает скорее не агроклиматический, а экономико-территориальный смысл. Между тем, картографические данные о характере размещения и концентрации посевов исследуемых культур показывают, что даже в пределах отдельных территориальных единиц этот характер определяется как ландшафтными особенностями местности, так и типом почвы с точки зрения ее пригодности в сельскохозяйственном отношении. Обычно посевы многих зерновых культур приурочены к районам распространения плодородных почв и концентрируются в лесостепной и степной ландшафтных зонах. Для более влажных и сухих районов отмечается снижение концентрации посевов по мере удаленности от указанных зон; одновременно с этим картина размещения начинает приобретать все более „точечный” характер. Поэтому исходя из сказанного представляется разумным относить оценки изменчивости урожаев по территории таким образом, чтобы в них были максимально учтены особенности размещения и концентрации посевов. К примеру, этого можно достичь путем нахождения репрезентативного пункта, отвечающего „средневзвешенной” концентрации посевов и конфигурации посевных площадей в пределах каждой территориальной единицы.

И, наконец, третий момент состоит в том, в какой форме представлять показатель изменчивости: использовать непосредственно стандарт отклонений $\sigma_{\Delta y}$ или придавать ему „нормированный” вид, относя к соответствующему уровню хозяйственной урожайности. Поскольку почвенно-климатические условия зернопроизводящих регионов неодинаковы и к тому же регионы существенно отличаются по технологии производства и продуктивности районированных сортов, значение $\sigma_{\Delta y}$ удобно отнести к уровню средней хозяйственной урожайности, в котором заключено совокупное проявление действия перечисленных факторов. Таким образом, с учетом всех изложенных замечаний, погодно-климатическую изменчивость урожаев можно охарактеризовать показателем вида

$$V = \frac{\sigma_{\Delta y}}{\bar{y}}, \quad (4.2)$$

тем самым придавая ему смысл коэффициента вариации. Отметим, что на практике при расчетах территориальных оценок изменчивости урожайности показатели вида (4.1) и (4.2) употребляются наиболее часто.

4.2. Территориальные закономерности изменчивости урожаев в зернопроизводящих регионах северного полушария

При получении оценок пространственного распределения погодно-климатической изменчивости урожаев озимой и яровой пшеницы на зерносеющей территории СССР, исчислены значения V для областей, краев, автономных и союзных республик за период с 1945 по 1988 г. Детальность сведений о размещении посевов озимых и яровых форм культуры в пределах административно-территориальных единиц дает возможность построить карты изолиний показателя варибельности урожаев, приведенные на рис. 4.1 и 4.2.

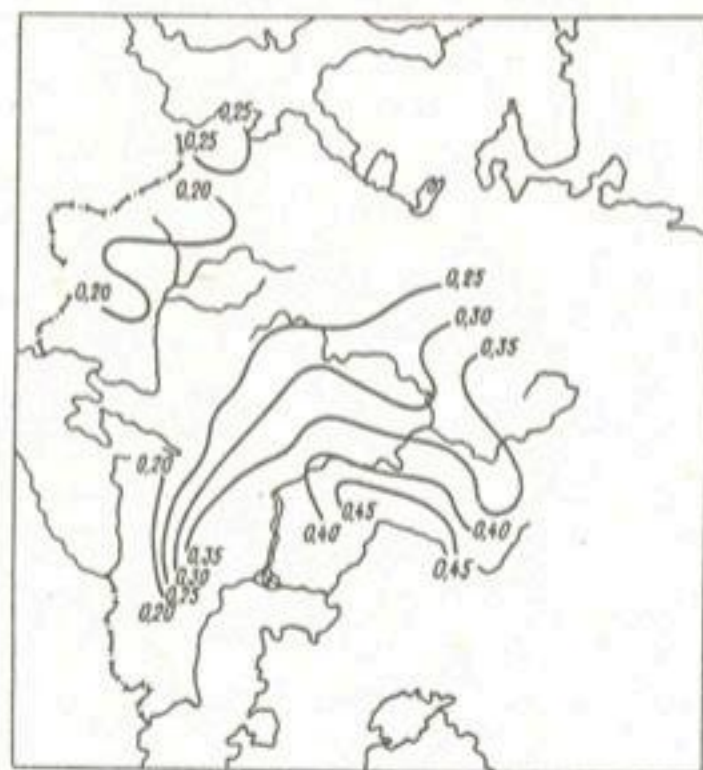


Рис. 4.1. Погодно-климатическая изменчивость урожаев озимой пшеницы на территории ЕЧС.

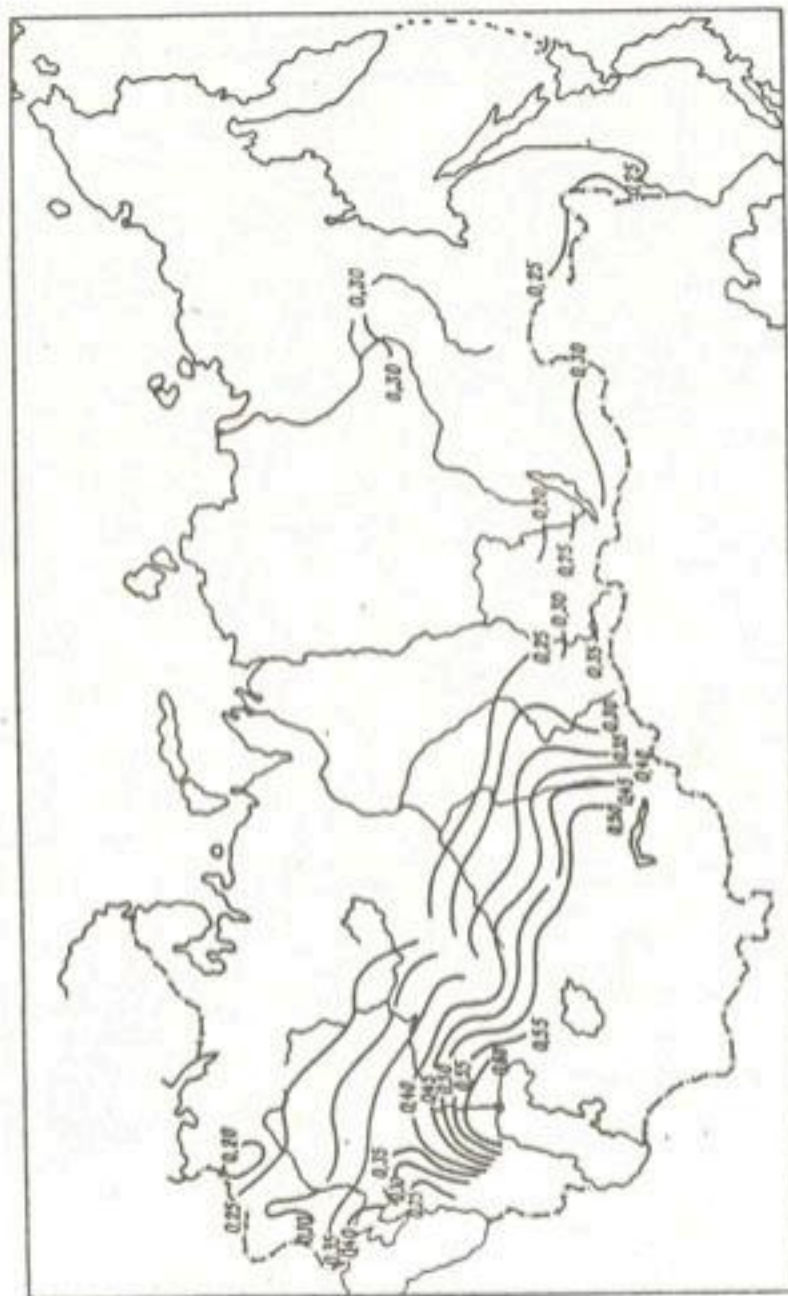


Рис. 4.2. Погодно-климатическая изменчивость урожая яровой пшеницы на территории нашей страны.

Зона возделывания озимой пшеницы (в условиях естественного увлажнения) охватывает в основном ЕЧС, так как условия зимнего периода не позволяют достаточно широко районировать озимые сорта в восточной части зернового клина нашей страны. Тем не менее даже на Европейской части вариация урожайности озимых форм культуры изменяется весьма значительно: в среднем от $V = 0,20$ до $V = 0,45$ (см. рис. 4.1). Наиболее высокая устойчивость урожаев отмечается в областях Беларуси, Юго-Западного экономического района Украины и в Краснодарском крае — $V < 0,20$. Относительно невелика их изменчивость в западных и центральных областях ЕТ РФ и прибалтийских республиках — $V \leq 0,25$. На востоке нечерноземной зоны показатель вариации V увеличивается до 0,35. Заметная неустойчивость урожаев озимой пшеницы характерна для районов Среднего и Нижнего Поволжья ($V > 0,35$), а также Предуралья ($V > 0,40$), что, наряду с прочими причинами, вызвано периодически наблюдаемым вымерзанием части посевов.

В отличие от озимых сортов ареал распространения яровых форм пшеницы очень обширен. Кроме ЕЧС, яровые сорта широко внедрены на Азиатской части СССР, где концентрация их посевов нарастает при продвижении в более восточные районы зернопроизводящей зоны. Существенные различия почвенно-климатических условий для произрастания яровой пшеницы определяют и диапазон изменчивости ее урожаев, который весьма широк — в среднем $0,20 < V < 0,60$.

Высокая устойчивость урожаев яровых форм культуры наблюдается лишь в самых западных районах ЕЧС — областях Беларуси, Западной Украины и прибалтийских республиках — $V < 0,20$. Относительно устойчивы их урожаи в северной части Донецко-Приднепровского экономического района, в Нечерноземье РСФСР, включая Дальний Восток, и Краснодарском крае — $0,21 < V < 0,29$. Для зоны сухого земледелия, напротив, характерна выраженная неустойчивость урожайности, при этом значения показателя V возрастают для более восточных и юго-восточных районов. Так, в Центрально-черноземной полосе, Среднем Поволжье, Предуралье и Западной Сибири V составляет от 0,30 до 0,35 (в Восточной Сибири и аласах Якутии немногим более 0,30). На юго-востоке Украины, в Ростовской области, Ставрополье, в пределах Северного Казахстана и Алтайского края его значения достигают $V = 0,40$. Наиболее выражена изменчивость урожайности яровой пшеницы в областях Нижнего Поволжья, южного Предуралья, западного и центрального Казахстана — $V > 0,40$. Для засушливых районов Калмыкии значения V достигают около 0,60.

При определении степени неизменности оценок V во времени, произведены расчеты погодно-климатической вариации урожаев

яровой пшеницы также и на временном промежутке, охватывающем интервалы: 1881—1916 гг., 1945—1977 гг. Результаты вычислений, оформленные в виде карты в [85], указывают на тесное согласование хода нанесенных изолиний с пространственной картиной изменчивости, полученной на основе данных за период с 1945 по 1988 г. (см. рис. 4.2).

Анализируя приведенные картографические построения, можно заметить, что в целом в распределении показателя V отражено пространственное изменение совокупности характеристик агроклиматического режима — количества выпадающих атмосферных осадков, сумм активных температур, запасов продуктивной влаги в почве на протяжении вегетации. Изолинии рис. 4.1 отражают и воздействие на изменчивость урожаев озимой пшеницы более азонального фактора — климатического показателя условий перезимовки.

Благодаря широкой распространяемости яровой пшеницы, определенные заключения можно получить и из сопоставления изменчивости ее урожаев с распределением комплексных агроклиматических показателей, характеризующих в обобщенном виде ресурсы климата для растениеводства. Во-первых, необходимо уточнить, что пространственная изменчивость урожайности яровой пшеницы соответствует принципу географической зональности. При этом определенные изолинии показателя V весьма тесно согласуются с границами природно-ландшафтных зон. Так, ход изолинии $V = 0,30$ приблизительно соответствует северной границе лесостепной зоны, $V = 0,35$ — степной, $V = 0,40$ — сухостепной, $V = 0,55$ — полупустынной [93]. Во-вторых, картина изменения данного показателя отражает закономерности распределения комплексных характеристик климатического режима, таких как радиационный индекс сухости М. И. Будыко, гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, коэффициент увлажнения Н. Н. Иванова, а изолинии V отвечают границам зон, выделенных по значениям указанных показателей [21, 49, 132]. В-третьих, наблюдается согласование характера проведенных изолиний с картой вероятности засух (Р %), выполненной А. М. Алпатьевым, и пространственным распределением временных интервалов τ 95 %-ной обеспеченности появления засух разной интенсивности, представленным в работе Ю. Л. Раунера [119, 133].

При обнаружении общих черт и различий в пространственной устойчивости урожаев разных зерновых культур на сельскохозяйственной территории СССР, известный интерес представляет сравнение показателей вариации V для некоторых из них. Если, к примеру, сопоставить изменчивость урожаев озимой пшеницы с вариацией урожаев других озимых культур, к примеру — ржи,

то можно обнаружить, что зона устойчивых урожаев последней значительно обширнее в сравнении с аналогичной зоной для озимых форм пшеницы. При этом районы наибольшей концентрации посевов озимой ржи, сосредоточенные преимущественно в Нечерноземье, почти полностью попадают в зону устойчивых урожаев ($V < 0,20$). Для районов умеренно устойчивых и неустойчивых урожаев, показатели изменчивости среднеобластной урожайности ржи также несколько ниже, чем для пшеницы. В Среднем Поволжье эти показатели не превышают значений $V = 0,25$; для Оренбуржья и северо-западной части Казахстана — заключены в пределах от 0,30 до 0,40. Относительно более высокая стабильность урожаев озимой ржи, наряду с особенностями размещения посевов, объяснима и приспособительными свойствами данной культуры к изменениям внешней среды, о которых упоминалось в главе 2. Такими свойствами растений ржи являются их повышенная устойчивость к низким температурам, невысокая требовательность к плодородию почв, проявление признаков засухоустойчивости для сортов, районированных в полузасушливых областях.

При сравнении показателей изменчивости V для яровых культур — яровой пшеницы и ярового ячменя, можно также проследить различия в устойчивости их урожаев. Проведенный анализ позволяет, в частности, заключить, что в целом устойчивость урожаев ячменя по сравнению с яровой пшеницей несколько выше. Это связано с тем, что основная часть его посевов заметно продвинута к западу и северу по сравнению с регионами традиционного возделывания яровой пшеницы. В результате этого зона устойчивых урожаев ячменя ($V < 0,20$) занимает значительную часть ЕЧС, включая северные районы. Сравнительно устойчивы его урожаи ($0,21 < V < 0,29$) на всей территории Донецко-Приднепровского экономического района и в центральночерноземных областях. Несколько иной характер в распределении территориальной изменчивости урожаев для указанных яровых культур наблюдается на Азиатской части СССР, где по величине неустойчивости урожайности ячмень превосходит пшеницу. При прочих равных агроклиматических условиях произрастания, такие различия в вариабельности урожаев, по мнению В. М. Пасова, связаны с особенностями структуры посевных площадей, которые состоят в отведении под пшеницу, как правило, более плодородных и окультуренных земель [105].

Несмотря на имеющиеся различия территориального распределения оценок V для выбранных зерновых культур, сравнительный анализ одновременно позволяет подметить ряд сходных закономерностей в пространственной изменчивости их урожаев. К одной из таких закономерностей необходимо отнести тенденцию возрастания показателя V для всех культур при продвижении в реги-

оны с неустойчивым характером атмосферного увлажнения. Другая заключается в наличии общих территорий с высокой степенью устойчивости урожаев зерновых. К таким территориям относятся Юго-Западный экономический район Украины, Краснодарский край и некоторые области Беларуси, где для всех рассматриваемых культур $V < 0,23$. Стабильность получаемых урожаев при высоком их среднем уровне здесь обеспечивается главным образом в результате оптимального сочетания агроклиматических и почвенных ресурсов (или при недостаточном естественном плодородии почв улучшением их свойств при помощи агротехнических приемов). Третья закономерность в большей мере проявляется для озимых культур и состоит в некотором увеличении неустойчивости их урожаев в Прибалтийском экономическом районе по сравнению с более южными и восточными областями нечерноземья. Повышенная неустойчивость урожайности озимых зерновых здесь часто вызвана повреждением растений в результате их выпирания (вследствие попеременного замерзания и оттаивания насыщенной влагой почвы), а также от выпревания и вымокания посевов [63, 162]. На приведенной карте для озимой пшеницы (рис. 4.1) данный район выделен изолинией $V = 0,25$.

При рассмотрении географических закономерностей погодноклиматической изменчивости урожаев в регионах Северной Америки привлечены оценки V для двух ведущих зерновых культур — пшеницы и кукурузы, посевы которых размещены в 48 административно-территориальных единицах США и Канады. Расчет показателей варибельности урожайности озимых и яровых форм пшеницы в отдельных штатах и провинциях производился за период с 1934 по 1987 г., для пшеницы в целом — осуществлялся на временном отрезке 1932—1978 гг. (т. е. уже к тому моменту, когда окончательно оформилась современная граница зернового пояса Северной Америки). Учет информации о размещении и концентрации посевов пшеницы позволяет, как и в случае для СССР, представить закономерности вариации ее урожаев в виде карт с нанесенными изолиниями показателя V (см. рис. 4.3, 4.4, 4.5).

Как известно, для основной зоны зернопроизводства в умеренных широтах североамериканского континента характерно многообразие климатических условий: от засушливого климата полупустынных областей, примыкающих к отрогам Скалистых гор, до влажного морского восточного побережья, и от умеренно-теплого климата северных равнин до субтропического американского юга. Естественно, такие климатические контрасты определяют и значительные различия условий для выращивания пшеницы на территории США и Канады. В свою очередь, это проявляется в

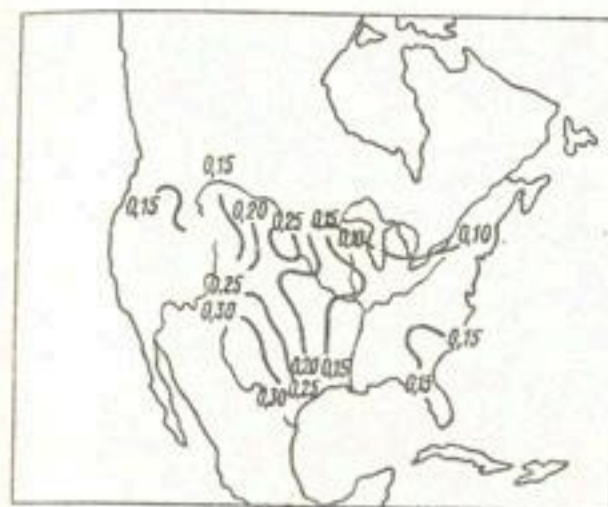


Рис. 4.3. Погодно-климатическая изменчивость урожаев озимой пшеницы на территории США и Канады.

том, что полученные оценки варибельности урожаев культуры имеют довольно широкий диапазон изменения — $0,10 < V < 0,35$.

Что касается оценок V для озимой пшеницы, приведенных на рис. 4.3, то, как видно из карты, наиболее выраженная изменчивость урожаев озимых форм отмечается в юго-западной части пшеничного пояса. Неустойчивый характер режима увлажнения на протяжении вегетации пшеницы приводит к значительным колебаниям ее урожаев на территории Нью-Мексико и Колорадо —

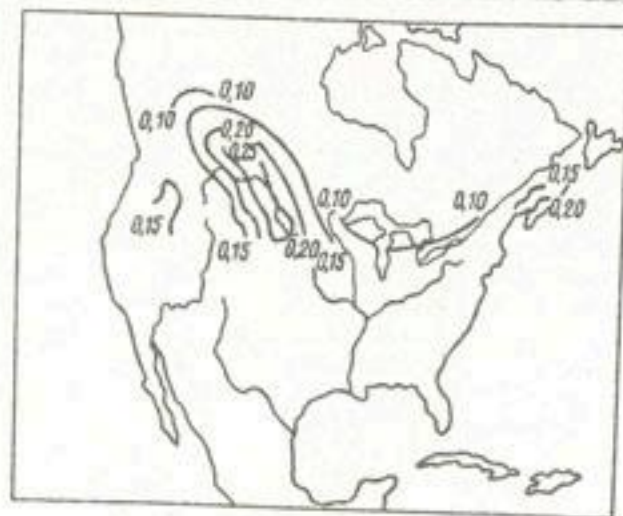


Рис. 4.4. Погодно-климатическая изменчивость урожаев яровой пшеницы на территории США и Канады.

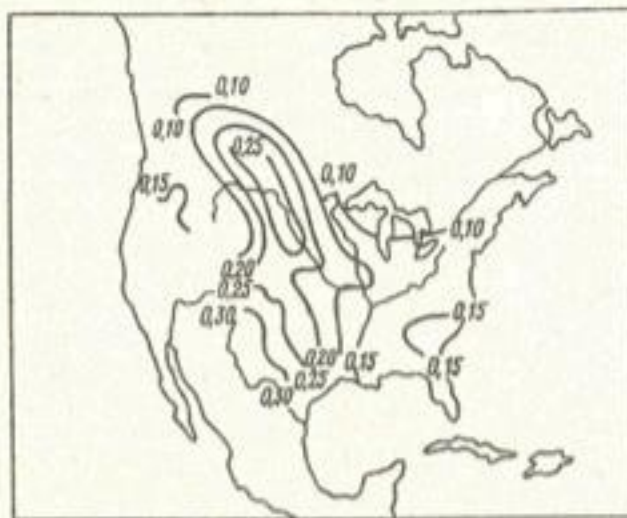


Рис. 4.5. Погодно-климатическая изменчивость урожая пшеницы в зерновом поясе Северной Америки.

V составляет до 0,30. Наблюдаемые здесь недороды обычно вызваны засухами и пыльными бурями, которые часто распространяются в соседние зернопроизводящие штаты. Особенно сильный ущерб был нанесен полеводству пыльными бурями в 30-е гг. („dust bowl” effects) [209]. Вычисленные за длительный период показатели вариации урожайности в Оклахоме и Техасе составляют около 0,23. В центральных и северных (лесостепных) районах пшеничного пояса устойчивость урожая озимой пшеницы несколько выше — $0,15 < V < 0,20$. На этом фоне, однако, можно проследить заметную вариабельность сборов зерна культуры в Южной Дакоте, что связано с воздействием локальных засушливых явлений.

Отсутствие периодического промерзания почв и более равномерное распределение атмосферных осадков внутри года позволяет получать довольно устойчивые урожаи озимой пшеницы в лесостепной части кукурузного пояса. Для штатов Огайо, Индиана, Иллинойс, Миссури, Айова — $0,10 < V < 0,15$; правда, при этом наблюдается тенденция к увеличению неустойчивости урожая при продвижении с востока на запад, т. е. в менее увлажненные районы.

Для южных приатлантических штатов изменчивость урожайности мягкой озимой пшеницы характеризуется значением $V \leq 0,15$. Излом изолинии $V = 0,15$ вдоль нижнего течения р. Миссисиппи обусловлен существенными изменениями агроклиматического режима, проявляющимися в переходе от условий континентального климата к влажному субтропическому. В ре-

зультате этого быстро нарастают суммы активных температур и среднегодового количества осадков, при этом осадки начинают приобретать интенсивный ливневой характер. Обращает внимание несколько большая неустойчивость урожая мягкой пшеницы в Джорджии и Южной Каролине ($V > 0,15$) по сравнению с другими штатами хлопкового пояса. По всей видимости, причина более частых снижений урожайности в этом ограниченном районе может состоять в повторяемости осенних засух, свойственных климатическим условиям юго-востока США.

В регионах богарного земледелия, расположенных на Северо-Западе США, устойчивость урожая белозерных сортов пшеницы также достаточно высока. Напротив, для ландшафтной области Палуз значение показателя V не превышает 0,15. На Приозерном плато с довольно мягким и влажным климатом вариабельность урожайности озимых форм составляет в среднем $V \leq 0,10$.

Изменчивость урожая яровой пшеницы в зоне ее производства на территории США и Канады заключена в пределах $-0,10 < V < 0,30$ (см. рис. 4.4). Значительная вариабельность урожайности яровых форм культуры имеет место в степных регионах Великих Равнин. Для территорий Северной и Южной Дакоты, Саскачевана, Альберты, частично Монтаны значение показателя $V > 0,25$. В лесостепной зоне Равнин показатель изменчивости несколько снижается: в Миннесоте и Манитобе не превышает 0,20, в Палузе и восточной части Британской Колумбии — менее 0,15. Высокая устойчивость урожайности характерна для района Великих озер и прилегающей к нему аллювиальной равнины вдоль течения р. Св. Лаврентия; для провинций Онтарио и Квебек показатель $V < 0,10$. В приморских провинциях восточной Канады по сравнению с районом Великих озер наблюдается более заметная неустойчивость получаемых урожаев пшеницы — $0,15 < V < 0,20$. Межгодовые колебания сбора яровой пшеницы в этом районе Канады чаще всего вызваны полеганием посевов из-за затяжных дождей, иногда сопровождаемых сильными ветрами.

При выявлении основных закономерностей пространственного распределения вариабельности урожая в зерновом поясе Северной Америки удобно обратиться к оценкам изменчивости V для пшеницы в целом (озимые плюс яровые сорта), представленным в виде изолиний на карте рис. 4.5. Анализируя рисунок, можно обратить внимание на то, что ход изолиний V отражает не только географические особенности изменения определенных климатических характеристик — количества выпадающих атмосферных осадков и их вариации, величины испаряемости, но и соответствует распределению комплексных показателей (ГТК, индекса засушливости Палмера) и повторяемости интенсивных засух, выделенных по значениям данных показателей [3, 175, 176, 177, 200].

Сравнение хода изолиний погодно-климатической изменчивости урожаев пшеницы с картами почвенного и растительного покрова также указывает на факт соответствия закономерностей вариации урожайности культуры природно-географической зональности. В частности, при сопоставлении рис. 4.5 с картой распространения естественных растительных сообществ можно убедиться в том, что ход изолинии $V = 0,15$ в целом согласуется с границей распространения формаций Грассленда (лесостепной зоны). Изолиния $V = 0,20$ примерно оконтуривает зону низкотравных прерий (степную зону), $V = 0,30$ — отделяет степную зону от сухостепных участков в южной части Великих Равнин. Можно отметить, что нанесенные изолинии сохраняют устойчивый характер во времени, о чем например свидетельствует сравнение рис. 4.5 с картиной изменчивости показателя V , рассчитанного за период с 1910 по 1978 г.

В отличие от пшеницы, посевы кукурузы на зерно сосредоточены в более увлажненной восточной части зернопроизводящей зоны США и Канады¹. К тому же для них характерна и резкая сконцентрированность в четырех штатах кукурузного пояса: Айове, Иллинойсе, Индиане и Огайо. Диапазон изменчивости урожайности кукурузы в основной зоне ее производства заметно уже чем для пшеницы — $0,10 < V < 0,20$, и только в западных штатах — Вайоминге, Колорадо и Нью-Мексико, где посевы культуры мизерны, $V > 0,20$. Если попытаться провести изолинию $V = 0,20$, то можно убедиться в том, что последняя также довольно точно совпадает с границей раздела между низкотравными прериями Великих Равнин и высокотравными формациями Грассленда, иными словами практически отделяет степную зону от лесостепной. Изолиния $V = 0,10$ оконтуривает Приозерный район и проходит по территориям штатов Висконсин, Иллинойс, Индиана, Огайо, Пенсильвания, Нью-Йорк и провинции Онтарио.

Также как и для зернопроизводящей зоны нашей страны, на территории зернового пояса Северной Америки можно выделить регионы с характерным типом изменчивости урожайности. К регионам повышенной неустойчивости урожаев зерновых культур следует отнести континентальные степные пространства, занимающие большую часть Великих Равнин. Значения показателя V для пшеницы и кукурузы в пределах этих территорий выше 0,20. Одновременно с зоной неустойчивых урожаев существует и обширный район высокой их стабильности, расположенный вблизи

¹ В Канаде посевы кукурузы на зерно возделываются только в провинции Онтарио.

Великих озер. Для указанного района оценки $V < 0,10$. Территориально он включает ряд штатов кукурузного пояса и южные округа провинции Онтарио. Гарантированные урожаи при высоком их среднем уровне обеспечиваются здесь благодаря достаточно оптимальному сочетанию ресурсов тепла и влаги для произрастания зерновых на почвах, обладающих высоким естественным плодородием.

Изменчивость урожаев зерновых культур в Западной Европе оценена за последние десятилетия в рамках современных границ европейских государств. Исходя из характера распределения вариабельности урожайности пшеницы, распространенной в разных природно-климатических условиях, зарубежный европейский регион можно условно разделить на две приблизительно равные части, но заметно отличающиеся по степени устойчивости урожаев. К первой из них относится обширный район с высокой устойчивостью урожайности — $V < 0,10$, который преимущественно включает ряд североевропейских и среднеевропейских государств. Он простирается от Британских островов на восток до Польши и от южной Скандинавии до Аппенинского полуострова. Благоприятный режим увлажнения в сочетании с необходимым для произрастания суммами активных температур позволяет в пределах указанного района получать гарантированные урожаи мягкой озимой пшеницы при высоком их среднем уровне. Анализируя климатические карты можно убедиться также и в том, что данная часть территории зарубежной Европы относится к зоне достаточного увлажнения с относительно устойчивым характером распределения сумм осадков по годам. По типу изменчивости урожаев она довольно четко может быть отделена от остальной части Европы изолинией $V = 0,10$. Эта изолиния проходит по южным районам Словакии, западной Венгрии, Хорватии и Словении, Аппенинскому полуострову, оставляя к северу Паданскую долину, и центральным департаментам Франции.

Одновременно изолинию $V = 0,10$ можно условно принять за границу раздела зон устойчивого и неустойчивого (не достаточно устойчивого) земледелия, к югу от которой располагаются районы с более заметными межгодовыми колебаниями урожайности. Наблюдаемые здесь снижения урожаев в той или иной степени связаны с воздействием засушливых явлений, возникновение которых является отличительной чертой агроклиматического режима¹ районов юго-восточной и южной Европы. В изменении показателя V при этом обнаруживаются зональные закономерности varia-

¹ По агроклиматическим показателям к этим районам может быть отнесена и Среднедунайская низменность.

бельности урожая. Для лесостепной зоны выращивания пшеницы на территории Венгрии, Югославии и Болгарии показатель изменчивости составляет 0,11—0,13, в степной зоне Румынии увеличивается до 0,15—0,16.

В странах южной Европы, где пшеница возделывается главным образом в условиях сухого субтропического (средиземноморского) климата на коричневых почвах, устойчивость хозяйственной урожайности тем не менее весьма различна и обусловлена как применяемой системой агротехники, так и географией размещения посевов. Например, в Греции, посевы пшеницы сосредоточены в северной части страны на плодородных равнинах Македонии, Нижней Фракии и Фессалии, относящихся к зоне распространения кустарниковых степей. Показатель изменчивости урожая культуры для этих районов составляет в среднем $V = 0,13 \dots 0,14$, что очень близко по величине оценки V для Болгарии, имеющей наиболее протяженную границу с Грецией на юге. Если учесть, что свыше 20 % обрабатываемых земель в Греции орошаются, то следует предположить, что соответственная оценка V при естественном фоне увлажнения может быть несколько выше и приблизительно соответствовать величине изменчивости урожая в степных районах Румынии.

В Испании пшеницу возделывают на богарных землях Месеты, Арагона и Андалузии — иначе говоря, преимущественно во внутренних районах с достаточно сухим климатом. Ввиду низкой естественной продуктивности климата, земледелие на богаре связано с введением паров при одновременном использовании в производстве сортов, обладающих признаками засухоустойчивости. Примерно с конца 70-х гг. заметно возросла доля орошаемых площадей под зерновыми, что привело к подъему уровня хозяйственной урожайности и повышению ее устойчивости. Рассчитанный показатель изменчивости урожая пшеницы для Испании в целом составляет чуть выше 0,13, что весьма близко к соответственной оценке, полученной для Греции.

На территории Португалии посевы пшеницы в основном сконцентрированы на юго-востоке в историко-географической провинции Алентежу. В отличие от внутренних районов Пиренейского полуострова высокая сухость климата здесь несколько смягчается благодаря притоку влажных воздушных масс с Атлантики, что вызывает крайне неустойчивый характер атмосферного увлажнения, особенно в весенне-летний период. Поэтому отличительной чертой климата указанного района является его засушливость [55]. По этой причине на фоне довольно низкой агротехнической оснащенности земледелия, определяющей общий уровень хозяй-

ственной урожайности пшеницы в Португалии ($\bar{U} \leq 1,0$ т/га), наблюдается весьма заметные ее колебания по годам. Последний факт также отражается и на показателе изменчивости урожая, который для Португалии наиболее высок среди всех других стран Западной Европы — $V > 0,21$.

К сожалению, отсутствие сведений о динамике урожайности в административно-территориальных единицах крупных европейских государств (Испании, Италии, Франции и др.) затрудняет построение детальной карты изменчивости урожая пшеницы для западноевропейского региона. Однако если исходить из географических особенностей режима увлажнения, то можно предположить, что неустойчивость урожая мягкой пшеницы в сухих районах юго-востока Испании, твердых сортов в южных провинциях материковой части Италии и на Сицилии значительно выше оценок V , рассчитанных в целом для территорий этих стран. Иными словами, для Западной Европы в целом должны проследиваться те же пространственные закономерности вариabельности урожая, что и для зернопроизводящих зон СССР и Северной Америки. Косвенным доказательством в пользу такого предположения, к примеру, может являться проведенный Е. Б. Хлебутиным анализ изменения уровня гарантированной урожайности пшеницы в разных департаментах Франции. Согласно результатам сравнительного анализа, наблюдается постепенное снижение этого уровня по направлению от влажных северных департаментов к более засушливым Лангедоку и Провансу [151].

Изменчивость урожая яровых сортов пшеницы влажного эко-типа, преобладающих в Финляндии, характеризуется значением показателя $V = 0,13$, что несколько превышает оценки V для пшеницы (преимущественно мягкой озимой) в Швеции и Дании. Повышенная неустойчивость урожайности яровых форм, как известно, связана с их заметной чувствительностью к изменчивости погодных условий в период прохождения главных фаз.

Наряду с пшеницей, к наиболее распространенным зерновым в западноевропейских странах следует отнести ячмень и овес. Пространственная изменчивость их урожая во многих чертах совпадает с распределением оценок V для пшеницы. Например, для ячменя также характерна высокая устойчивость его урожая в странах Центральной Европы — $V < 0,10$. Однако, в отличие от пшеницы, ячмень обладает большей устойчивостью урожайности и в ряде восточноевропейских государств — Венгрии, Югославии, Болгарии, Румынии — в среднем оценки V составляют около 0,10. Прежде всего это связано с размещением посевов высокоурожайных сортов ячменя в более увлажненных районах

сельскохозяйственных зон указанных государств. В Южной Европе значения показателя V для данной культуры очень близки соответствующим показателям для пшеницы и только для Испании V достигает 0,15. В североевропейских странах изменчивость урожайности ячменя несколько выше, чем в среднем для пшеницы, что обусловлено преобладанием его яровых форм в Швеции, Норвегии и Финляндии. Для этих стран показатель колеблемости V составляет в среднем от 0,10 до 0,13.

Что же касается овса, то в целом устойчивость его урожая также достаточно высока. Исключение составляют лишь отдельные государства южной Европы (Португалия, Албания), для которых оценки V достигают значений 0,20—0,24.

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что территориальное распределение оценок V в зерновых зонах СССР, США и Канады, а также в Западной Европе, обладает весьма сходными чертами. Конечно, различие агрофона и свойств распространенных сортов определенным образом сказывается на характеристиках урожайности, что особенно заметно при сравнении оценок изменчивости урожая для нашей страны и зарубежных территорий. Однако в пространственном изменении погодно-климатической вариации урожайности сохраняется и общая закономерность, присущая всем зернопроизводящим регионам полушария. Эта закономерность, как отмечалось, состоит в зональном характере изменения показателя V , который возрастает по мере концентрации посевов в континентальных районах с засушливым климатом. Одновременно с этим ход изолиний V отвечает границам раздела природно-климатических и ландшафтных зон — т. е. соответствует принципу географической зональности. Таким образом, все вышесказанное позволяет считать, что погодно-климатическую изменчивость урожая следует рассматривать в качестве одной из важных характеристик, отражающих воздействие факторов климатического режима на процесс формирования конечной продуктивности полевых культур.

Районирование сельскохозяйственных территорий по признаку устойчивости урожайности дает возможность выделить зоны, различающиеся по получению гарантированных урожаев. Выявление такого рода зон представляется существенным моментом при разработке комплексных методик для обоснования рационального размещения посевов с учетом приспособительных особенностей и свойств внедряемых в производство новых сортов зерновых культур.

4.3. Изменчивость урожаев и факторы агроклиматического режима

В предыдущем параграфе было подчеркнуто, что пространственное распределение изменчивости урожаев прежде всего обусловлено проявлением особенностей климатического режима в пределах крупных сельскохозяйственных территорий и регионов. В связи с этим представляется целесообразным проследить влияние агроклиматических факторов на устойчивость урожайности наиболее распространенной в умеренных широтах зерновой культуры — пшеницы, и на основе статистического анализа установить закономерности, отражающие характер этого влияния.

Для оценок воздействия указанных факторов на вариацию урожая пшеницы в нашей стране привлечен значительный объем материалов, касающихся характеристик агроклиматического режима зерносеющей территории страны. Так, при рассмотрении режима атмосферных осадков использованы данные об их количестве, осредненные по площадям территориальных единиц основной сельскохозяйственной зоны, приведенные в работах Н. И. Ефремовой и А. В. Мещерской, которые дополнены информацией по несоевещенным районам из научно-прикладного справочника по климату СССР [44, 66, 76, 81]. В качестве показателей условий атмосферного увлажнения выбраны нормы осадков $\sum P$, а также коэффициенты их вариации C_V , как для отдельных месяцев года, так и в целом за вегетационный период.

Атмосферным осадкам принадлежит ведущая роль в формировании водного режима в зональном типе почв. В свою очередь водный режим почвы является важнейшим фактором процесса почвообразования и показателем естественного почвенного плодородия. В исследовании Л. С. Кельчевской [51] дана агроклиматическая оценка Европейской части территории СССР по обеспеченности ресурсами почвенной влаги и агрогидрологической эффективности использования черных паров в разных природно-ландшафтных зонах. Подчеркнуто, что учет пространственно-временной структуры поля влажности корнеобитаемого слоя почвы крайне необходим для комплексного подхода при изучении агроклиматических ресурсов и их изменений.

Информация о территориальном распределении влагозапасов в почве применительно к полеводству содержится в изданиях „Средние многолетние и вероятностные характеристики запасов продуктивной влаги под озимыми и ранними яровыми культурами“, подготовленных ВНИИСХМ совместно с региональными НИГМИ [136, 137]. Из всей совокупности приводимых данных

выбраны статистические характеристики запасов продуктивной влаги под посевами озимой и яровой пшеницы в основные фазы развития: для озимой — „начало сева” (в слое 0—20 см), „возобновление вегетации”, „выход в трубку”, „колошение”, „восковая спелость” (в слое 0—100 см); для яровой — „сев”, „выход в трубку”, „колошение” и „восковая спелость”. Ввиду того что густота сети пунктов наблюдений за влагозапасами достаточно неравномерна, для зерносеющих областей рассчитаны среднеобластные значения W и C_v ; при этом учтена репрезентативность

станций путем сравнения расположения пунктов с размещением посевов пшеницы в пределах каждой территориальной единицы.

Важным фактором, определяющим изменчивость урожайности озимой пшеницы являются условия зимнего периода. Как уже отмечалось, основные причины повреждения и гибели озимых всходов обычно связаны с неблагоприятными условиями перезимовки: вымерзанием, выпреванием, вымоканием растений, образованием притертой ледяной корки и др. Наиболее часто и на больших площадях повреждение озимых сортов пшеницы происходит в результате вымерзания, связанного с понижением температуры почвы на глубине узла кущения до пределов ниже критической, характеризующей зимостойкость районированных сортов. Как показано В. А. Моисейчик, среднее многолетнее значение глубины промерзания почвы определенным образом связано с показателем суровости зимы — суммой средних многолетних отрицательных температур воздуха $\sum T_{<0} \cdot C$. В работах Моисейчик приведена карта изолиний $\sum T_{<0} \cdot C$ которую можно сопоставить с территориальными оценками погодно-климатической вариации урожая озимой пшеницы [78]. Конечно, выбранный климатический показатель имеет ряд ограничений для подобных сопоставлений (например, в районах с мощным снежным покровом и продолжительным его залеганием). Однако учет влияния термических условий холодного периода года на вариацию урожая озимых культур представляется достаточно важным моментом при построении и анализе далее приводимых регрессионных связей.

Заметное влияние на изменчивость урожая яровой пшеницы в зоне сухого земледелия СССР оказывают суховеи. Для характеристики суховея часто используется такой показатель их интенсивности, как значение дефицита насыщения d . По методике Е. А. Цубербиллер за критерий дней с суховеями обычно принимают дни, когда дефицит насыщения в 13 ч равен или превышает 20 ГПа [153]. В работах Л. Е. Пасечнюк и В. А. Сеникова по методике Цубербиллер определено пространственное распределение среднего количества дней с суховеями N для каж-

дого из четырех теплых месяцев начиная с мая и в целом за вегетационный период, а также их изменчивость в зоне неустойчивого земледелия, где эти неблагоприятные явления наиболее распространены [103].

Следует упомянуть, что на изменчивость конечных сборов зерна пшеницы могут оказывать воздействие и заморозки. Однако эффект их отрицательного воздействия менее ощутим по сравнению с ущербом, наносимым засухами, суховеями и вымерзанием посевов. В исследованиях И. А. Гольцберг обращено внимание на то, что заморозки наиболее опасны для теплолюбивых растений, но возможность их появления также должна учитываться при выборе оптимальных сроков сева и уборки многих зерновых культур. Высокой устойчивостью к заморозкам обладают ранние яровые хлеба — пшеница, ячмень, овес. Тем не менее поздние весенние заморозки иногда могут повреждать посевы озимой пшеницы, находящиеся в стадии цветения или созревания [35, 64].

Выделив ряд основных факторов агроклиматического режима, определяющих пространственную вариативность урожая пшеницы, перейдем к рассмотрению и анализу статистических связей между выбранными предикторами и предиктантом. Для удобства пояснения графических зависимостей введем следующую символику на вертикальных осях. Погодно-климатическую изменчивость урожайности яровой пшеницы будем обозначать символы V_s (от английского варианта — spring wheat), озимой пшеницы — V_w (от английского варианта — winter wheat).

Установление вида зависимостей вариации урожая разных форм пшеницы от норм осадков вегетационного периода осуществлялось на основе расчета среднеобластных оценок V_s и V_w для всей зернопроизводящей зоны, включая территории ЕЧС и АЧС. Расположение поля точек в обоих случаях указывает на наличие отрицательной линейной связи между показателем изменчивости урожая и нормами среднеобластных осадков за апрель — октябрь¹. Наблюдаемая пространственная корреляция для яровой пшеницы характеризуется выборочной оценкой линейного коэффициента корреляции $r = -0,87$ (см. рис. 4.6). Вычисленное по методу наименьших квадратов уравнение регрессии имеет вид:

$$V_s = -0,011 \sum_{IV}^X P + 0,674,$$

¹ Период апрель — октябрь в агроклиматологии — достаточно часто приводимый и обеспеченный информацией временной интервал. Иногда он несколько шире по продолжительности вегетации пшеницы.

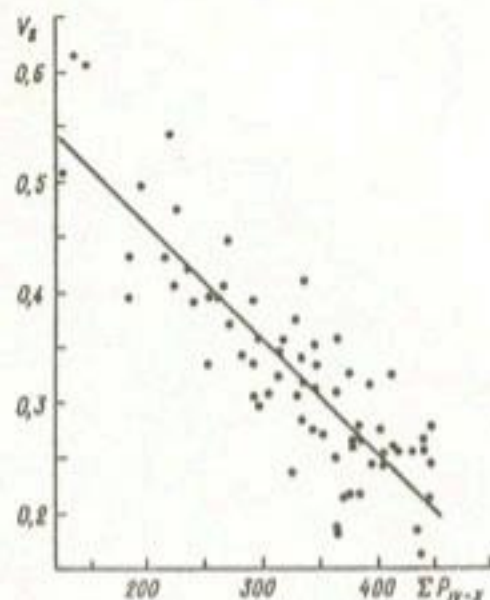


Рис. 4.6. Зависимость изменчивости урожая яровой пшеницы от норм осадков вегетационного периода (зерновая зона нашей страны).

где $\hat{V}_s$ — регрессионная оценка показателя изменчивости урожая V_s ,
 $\sum_{IV}^X P$ — норма среднеобластных осадков за IV—X, мм.

Величина среднеквадратического отклонения от линии регрессии σ_{V_s} составляет около 0,05.

Высокое значение парного коэффициента корреляции указывает на выраженную зависимость изменчивости урожайности яровой пшеницы от количества осадков, выпадающих в регионах зернопроизводящей зоны на протяжении теплого периода года. Напротив, заметно меньшая корреляция для озимых сортов — $r = -0,53$ и возрастание стандарта отклонений от линии регрессии до $\sigma_{V_w} = 0,06$ свидетельствует о влиянии на вариацию их урожая помимо выбранного других агрометеорологических предикторов — к примеру, условий перезимовки.

Если произвести сопоставление изменчивости компонентов урожайности с вариацией среднеобластных осадков за апрель — октябрь, то в целом можно обнаружить присутствие положительной линейной связи между рассматриваемыми характеристиками.

Так, например, коэффициент корреляции между показателем V_s и C_{V_s} достигает $r = 0,87$, для V_w и C_{V_w} составляет около 0,65.

Как уже упоминалось, существенное воздействие на колебания урожайности пшеницы в зоне неустойчивого земледелия оказывают засухи. Зависимость изменчивости урожая от среднего многолетнего количества дней с засухами N за апрель — октябрь в основных районах производства яровой пшеницы показана на рис. 4.7. Расчетное уравнение регрессии можно представить в виде

$$\hat{V}_s = 0,004 N_{IV-X} + 0,415, \quad (4.4)$$

где N_{IV-X} — среднее многолетнее количество дней с засухами. При этом выборочная оценка коэффициента корреляции $r = 0,87$, σ_{V_s} составляет менее 0,05.

Изменчивость погодо-климатической составляющей динамики урожайности яровой пшеницы от вариации числа дней с засухами оценена для районов юга ЕЧС, Поволжья, Предуралья, Западной Сибири и Казахстана. Отмечается высокая корреляция — $r = -0,89$ и незначительный разброс поля точек ($\sigma_{V_s} < 0,03$) для данной регрессионной зависимости. Подобные корреляционные связи для озимой пшеницы выражены менее отчетливо, хотя и наблюдается общая тенденция к возрастанию вариации урожая при увеличении числа дней с засухами. Эллипсы рассеяния, однако, достаточно велики, что затрудняет возможность проведения регрессионного анализа.

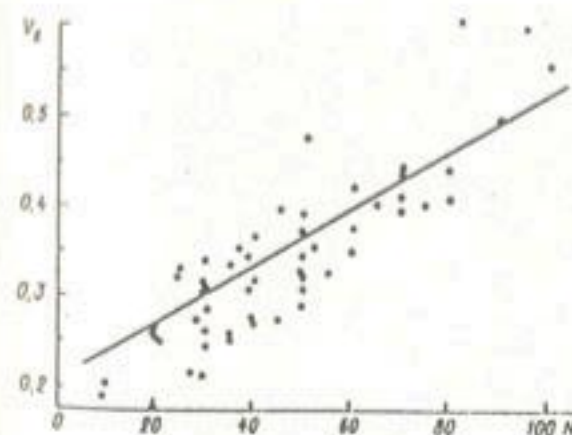


Рис. 4.7. Зависимость изменчивости урожая яровой пшеницы от среднегодового количества дней с засухами (зерновая зона нашей страны).

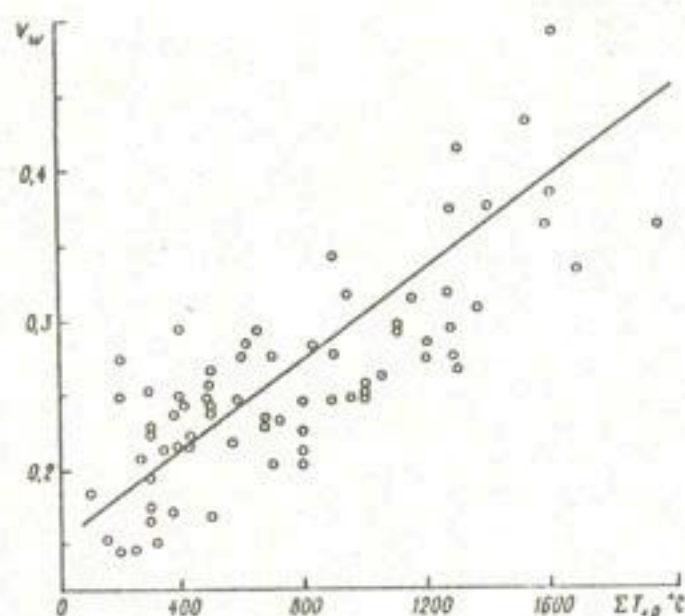


Рис. 4.8. Влияние термических условий холодного периода на изменчивость урожаев озимой пшеницы (ЕЧС).

Влияние термических условий холодного периода года на изменчивость урожаев озимой пшеницы иллюстрирует рис. 4.8, на котором приведена зависимость изменения показателя V_w от возрастания средних многолетних сумм отрицательных температур воздуха ($\sum T < 0^\circ\text{C}$). Прослеживается положительная линейная корреляция между анализируемыми величинами. Она характеризуется значением $r = 0,71$ и среднеквадратическим отклонением от линии регрессии $\sigma_{V_w} = 0,045$.

Остановимся подробнее на рассмотрении статистических связей между вариабельностью урожаев и запасами продуктивной влаги под посевами пшеницы в основные фазы развития озимых и яровых форм, поскольку среднее содержание влаги в почве и его изменение на протяжении вегетации растений в значительной степени определяет конечную величину получаемых урожаев. Некоторые зависимости пространственной вариации урожайности яровой пшеницы от средних многолетних влагозапасов W_i в основные фазы развития культуры представлены в [94]. Следует подчеркнуть, что особенностью данных регрессионных связей является их гиперболический характер, определяемый чувствительностью вариации урожаев к изменению запасов влаги активного слоя почвы в разных природно-климатических зонах. Наибольшая

чувствительность оценок V_s к изменению величин W_i проявляется для регионов с неустойчивым режимом осадков, наименьшая — в достаточно увлажненной зоне. Графически это находит отображение в приращении оценок ΔV_s на интервале изменения средних величин влагозапасов для каждой из рассматриваемых фаз. Сравнительный анализ корреляционных связей, в частности, показывает, что зависимость между V_s и W_i можно считать близкой к линейной, так как интенсивное пополнение влаги весной за счет снеготаяния несколько сглаживает различия в величине влагозапасов пахотного горизонта почвы для регионов сухого и устойчивого земледелия. Приведенная в табл. 4.1 корреляционная матрица характеризует степень связности вариации урожаев с изменением средних многолетних запасов продуктивной влаги в главные фазы развития яровой пшеницы. Как видно из таблицы, имеет место статистически значимая корреляция между V_s и величинами W_i . Обращает внимание также и высокая сопряженность пространственного распределения влагозапасов при переходе от одной фазы к другой. Внизу даны стандарты отклонений от регрессионных кривых для всех четырех случаев.

Таблица 4.1

Корреляция между показателем изменчивости урожаев и средними запасами продуктивной влаги под посевами в основные фазы развития яровой пшеницы

Предиктант и агроклиматические предикторы	V_s	Запасы продуктивной влаги (W_i)			
		сев (W_1)	выход в трубку (W_2)	колошение (W_3)	восковая спелость (W_4)
V_s	1				
Запасы продуктивной влаги W_i					
сев (W_1)	-0,80	1			
выход в трубку (W_2)	-0,78	0,95	1		
колошение (W_3)	-0,84	0,89	0,92	1	
восковая спелость (W_4)	-0,81	0,82	0,84	0,97	1
Среднеквадратическое отклонение		0,046	0,045	0,039	0,042

Зависимости показателя V_s от вариации запасов продуктивной влаги достаточно точно описываются с помощью параболической регрессии. Расчеты показывают, что корреляция между V_s и C_{V_w} при этом достигает 0,8, а среднеквадратические отклонения от регрессионных кривых не превышают 0,05. Как и в случае средних многолетних значений W_p , присутствует выраженная связность между пространственным изменением вариации влагозапасов в разные фазы развития яровой пшеницы.

Полученные связи для озимой пшеницы во многом сходны с рассмотренными выше для яровых сортов. Однако наблюдаемый разброс корреляционного поля весьма значителен. По этой причине корреляция между показателем V_w и средними влагозапасами для пяти фаз развития культуры не превышает $\eta = 0,7$. Примерно такова же она и при сопоставлении характеристик вариации V_w и C_{V_w} . Тем не менее можно отметить значительную чувствительность изменчивости урожая озимой пшеницы к пространственному изменению запасов почвенной влаги и их вариации по годам в фазы появления всходов и возобновления вегетации.

Касаясь анализа парных регрессионных зависимостей, необходимо отметить, что несмотря на часто малые абсолютные значения коэффициентов регрессии, обусловленные размерностью предикторов и предиктанта, их величины всюду превышают ошибку, вычисляемую в общем виде как

$$S_{b_{rx}} = S_r \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}, \quad (4.5)$$

где $S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$ является погрешностью расчета коэффициента корреляции r ; X_i , Y_i , $\bar{X}$, $\bar{Y}$ — значения предиктора и предиктанта и их средние. Сравнение критериев существенности корреляции $t_r = r/S_r$ и регрессии $t_b = b/S_b$ с оценками по t -распределению свидетельствует о значимости приводимых статистических характеристик и регрессионных зависимостей. (В дальнейшем для удобства представления расчетных параметров уравнения регрес-

сии также будут приводиться и к стандартизированному виду.) В качестве примера проверки гипотезы о значимости регрессии в табл. 4.2 указаны значения регрессионных коэффициентов для уравнений (4.3) и (4.4), дана ошибка их определения и соответственная оценка значимости по t - и F -критериям.

Таблица 4.2

Оценки t - и F -критериев для коэффициентов регрессии в уравнениях (4.3) и (4.4)

Агроклиматический фактор	Регрессионный коэффициент b	Ошибка регрессионного коэффициента S_b	Стандартизованный регрессионный коэффициент b'	Значение t -критерия	Значение F -критерия
$\sum_{IV} P, \text{ мм}$	$-1,1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$-0,821$	$-8,86$	78,43
$N_{iv} - x, \text{ дни}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$+0,837$	9,42	88,67

При получении оценок V по моделям множественной регрессии в исходные уравнения вводилась информация о нескольких агроклиматических предикторах. В случае расчета для яровой пшеницы в качестве предикторов фигурировали: нормы атмосферных осадков, среднее количество дней с суховеями, запасы почвенной влаги в период появления всходов. Как показали вычисления, коэффициент множественной корреляции R составил $0,92 \pm 0,03$ ($D^* = 0,84$). Следует однако обратить внимание на незначительное увеличение корреляции, полученное по многофакторной модели для яровой пшеницы в сравнении с расчетами, использующими только один из выбранных агроклиматических показателей. Это объясняется заметной корреляционной связностью пространственного изменения рассматриваемых нами факторных признаков. К примеру, коэффициент корреляции между среднеобластными осадками и числом дней с суховеями в зоне неустойчивого земледелия достигает значения $r = -0,80$, запасы продуктивной влаги и атмосферными осадками колеблется в пределах 0,74—0,80, количеством дней с суховеями и влагозапасами — от $-0,61$ до $-0,80$.

В качестве факторов агроклиматического режима, определяющих вариацию урожая озимой пшеницы в СССР, выбраны нормы осадков за теплый период (с апреля по октябрь) и суммы средних многолетних отрицательных температур воздуха, характеризующие условия холодного периода года. Поскольку показа-

тель V_w линейно связан с изменением указанных факторов и данные климатические предикторы некоррелированы ($r_{\sum P, \sum T < 0^\circ\text{C}} < -0,08$), уравнение множественной регрессии может быть представлено в стандартизованной форме как:

$$\frac{V_w - \bar{V}_w}{\sigma_{V_w}} = b_1' \frac{\sum P - \bar{\sum P}}{\sigma_{\sum P}} + b_2' \frac{\sum T < 0^\circ\text{C} - \bar{\sum T < 0^\circ\text{C}}}{\sigma_{\sum T < 0^\circ\text{C}}}, \quad (4.6)$$

где V_w — погодно-климатическая изменчивость урожая озимой пшеницы; $\sum P$ — средние многолетние суммы осадков за IV—X; $\sum T < 0^\circ\text{C}$ — соответствующие суммы отрицательных температур воздуха; $\bar{V}_w$, $\bar{\sum P}$, $\bar{\sum T < 0^\circ\text{C}}$ — средние значения; σ_{V_w} , $\sigma_{\sum P}$, $\sigma_{\sum T < 0^\circ\text{C}}$ — стандартные отклонения; b_i' — расчетные коэффициенты.

В результате применения двухфакторной регрессионной модели, значение множественного коэффициента корреляции R составило $0,83 \pm 0,04$ ($D^* = 0,68$), что существенно выше парной корреляции ($r_{V_w, \sum P} = -0,53$, $r_{V_w, \sum T < 0} = 0,71$).

Таблица 4.3

Результаты расчета параметров, входящих в двухфакторную регрессионную модель (4.6)

Агроклиматические предикторы и предиктант	Среднее значение ($\bar{m}$)	Стандартное отклонение (σ)	Расчетный стандартизованный коэффициент (b')	t -критерий	Доверительная вероятность β
$\sum P$ мм	348,0	64,6	-0,473	-6,635	0,999
$\sum T < 0^\circ\text{C}$	848,0	415,9	-0,638	8,956	0,999
V_w	0,261	0,071	—	—	—

В табл. 4.3 приводятся результаты вычисления параметров, входящих в двухфакторную модель (4.6), а также соответствующие их оценки по t -критерию и доверительная вероятность β .

Подобным образом аппарат множественной регрессии можно распространить для сопоставления изменчивости урожая с вариацией факторов агроклиматического режима.

При оценивании влияния агроклиматических факторов на устойчивость урожая в зернопроизводящих регионах США и Канады использованы многочисленные данные по характеристикам климата, приводимые в национальных зарубежных изданиях [173, 196, 201, 207], а также в отечественных источниках [54, 104]. Необходимо отметить, что большинство из построенных зависимостей изменчивости урожая пшеницы от факторов агроклиматического режима на североамериканском континенте выражено менее отчетливо, чем для зерносеющей территории СССР. Например, корреляционные поля характеризующие связь между вариацией урожая озимой пшеницы V_w и территориальным изменением показателей условий перезимовки (средней температурой воздуха холодного периода, высотой снежного покрова и глубиной промерзания почвы) сильно размыты. Имея в виду то, что для большей части зоны производства озимых сортов в США и Канаде характерна мягкая зима с незначительным промерзанием почв, становится ясным, что термические условия зимнего сезона не являются основным фактором, определяющим характер межгодовых колебаний их сборов.

В подтверждение высказанного можно привести результаты анализа потерь урожая пшеницы из-за зимних повреждений, проведенного Л. Хьюсом за период с 1939 по 1957 г. для штатов пшеничного пояса. Из анализа следует, что самым неблагоприятным по условиям перезимовки за весь рассматриваемый период оказался лишь 1951 г., когда потери посевных площадей вследствие зимних повреждений оказались соизмеримы с потерями при интенсивной засухе. В остальных случаях потери площадей не превышали 10 % общей посевной площади и наблюдались главным образом в районах недостаточного распространения зимостойких сортов пшеницы [187].

Более ощутимое воздействие на межгодовые колебания урожайности пшеницы оказывают условия влагообеспеченности посевов. Для континентальной зоны США и Канады наблюдается достаточно выраженная зависимость между изменением показателя вариации урожая и нормами осадков вегетационного периода. В качестве норм осадков периода вегетации выбраны средние многолетние суммы осадков по месяцам: для южной части пшеничного пояса — с февраля по август (для Техаса с января по июль), для центральной — с марта по сентябрь, для северной — с апреля по октябрь. Применительно к озимой пшенице такая зависимость характеризуется значением $r = -0,78$ и $\sigma_{V_w} = 0,06$, к яровой — $r = -0,75$ и $\sigma_{V_w} = 0,05$.

Анализируя приведенные статистики, следует обратить внимание на заметный разброс корреляционных полей, особенно в варианте озимой пшеницы. Графически это выражается в уклоне-

нии некоторых из нанесенных точек, отвечающих засушливым районам, от регрессионной зависимости. При этом низким нормам осадков соответствует достаточно высокая устойчивость урожаев V_w . Данный факт объясним тем, что часть площадей под пшеницей в засушливой зоне Равнин и на Колумбийском плато орошается, к тому же разветвленная сеть ирригационных и дренажных систем позволяет направленно регулировать поверхностный и подземный сток, осуществляя поддержание необходимого запаса влаги в корнеобитаемом слое почвы.

Следует подчеркнуть, что в целом, несмотря на указанное замечание, особенности режима атмосферного увлажнения оказывают довольно заметное влияние на характер регионального распределения устойчивости получаемых урожаев. Так например, сопоставление изменчивости урожайности пшеницы V с пространственным распределением коэффициента вариации атмосферных осадков на североамериканском континенте, приводимым в [104, 160, 201], обнаруживает тесную сопряженность между выбранными показателями. Для зависимости между V_w и C_{V_p} , изображенной на рис. 4.9, выборочная оценка коэффициента корреляции достигает значения $r = 0,90$, среднеквадратическое отклонение от линии регрессии не превышает $\sigma_{V_w} = 0,05$.

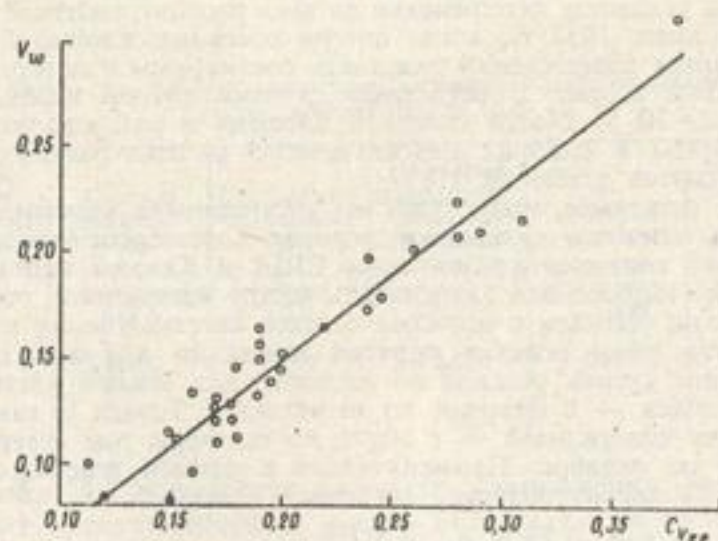


Рис. 4.9. Связь изменчивости урожаев озимой пшеницы с пространственным распределением коэффициента вариации атмосферных осадков (североамериканский зерновой пояс).

Отсутствие данных сетевых наблюдений за изменением запасов продуктивной влаги под посевами зерновых культур на территории США, Канады и в большинстве европейских стран, к сожалению, исключает возможность проведения таких же детальных сравнений, которые выполнены для территории нашей страны. Ввиду этого при построении статистических связей для западноевропейского региона мы ограничились рассмотрением зависимостей вариации урожаев пшеницы главным образом от изменения условий атмосферного увлажнения. Как показывают результаты анализа, корреляция между показателем V и характеристиками поля осадков за вегетационный период¹ составляет $r = -0,68$ в случае использования в качестве предиктора норм осадков и $r = 0,72$ в случае использования коэффициента их вариации. Следует уточнить, что на характер сопряженности между рассматриваемыми показателями в немалой степени оказывает влияние особенность расположения поля точек на графиках. Для регионов устойчивого увлажнения точки резко концентрируются, располагаясь вблизи друг друга, в то время как для орошаемых территорий Южной Европы они заметно отклоняются от проведенной регрессионной зависимости.

Существенно более тесные связи получены при сопоставлении показателя изменчивости урожаев пшеницы с условиями увлажнения в европейских странах-членах СЭВ. Расчет оценок V осуществлен по отклонениям фактической урожайности от агротехнических трендов, учитывающих временные изменения доз вносимых минеральных компонентов НРК. В работе [86] приведена корреляционная связь между показателем V и коэффициентом вариации атмосферных осадков за апрель — октябрь, которая характеризуется значением $r = 0,92$ и стандартным отклонением от линии регрессии $\sigma_V = 0,012$. В качестве примера расчетов рис. 4.10 иллюстрирует зависимость изменчивости урожайности от среднегодового количества дней с осадками, превышающими 1,0 мм ($r = -0,94$, $\sigma_V = 0,01$). Точки в нижней части графика соответствуют оценкам для ГДР, Польши и Чехословакии, в верхней части — для Венгрии, Болгарии и Румынии.

Пространственную вариацию урожаев можно также сравнить с распределением комплексных характеристик агроклиматического режима. Некоторые зависимости такого рода применительно к яровой пшенице на территории СССР рассмотрены в [93]. На их основе оценена корреляция между изменением показателя

¹ Продолжительность периода вегетации определена согласно географии размещения посевов.

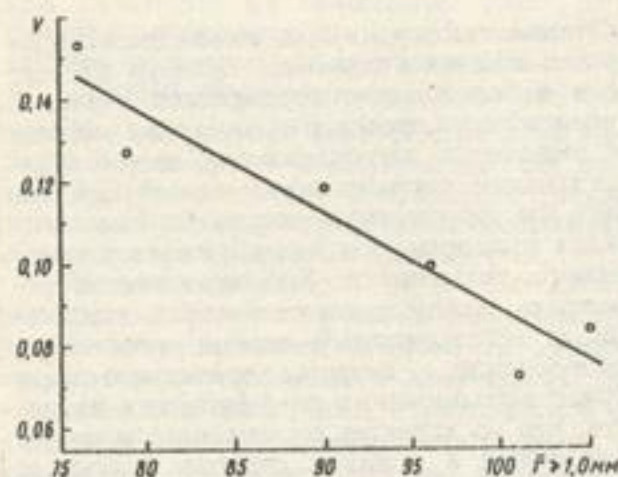


Рис. 4.10. Зависимость изменчивости урожая пшеницы от среднегодового количества дней с осадками $r \geq 1,0$ мм (страны Восточной Европы).

V_s и радиационным индексом сухости R/LE ($r = 0,88$); величиной V_s и ГТК за период интенсивной вегетации зерновых — $r = -0,86$. Проведенный анализ одновременно позволил установить зависимости изменчивости урожая яровых форм пшеницы от вероятности распространения засух P (%) по А. М. Алпатьеву ($r > 0,88$) и пространственного распределения временных интервалов τ 95 %-ной обеспеченности появления засух средней и высокой интенсивности по Ю. Л. Раунеру ($r = 0,91$).

Наличие связей подобного характера можно проследить и для пояса возделывания пшеницы на североамериканском континенте. Так, например, обнаруживается довольно тесная корреляция между изменением показателя V и повторяемостью интенсивных засух на территории США — $r > 0,75$ (повторяемость засух выражена в процентах месяцев от общего их числа за 30-летний период и приведена в [175]). Представляет также интерес и рассмотрение зависимости пространственной вариации урожая пшеницы от распределения среднегодового числа часов с температурой воздуха выше 29°C и относительной влажностью менее 30 %. Данный показатель агроклиматических условий использован Р. Людольфом и Т. Вильямсом в качестве характеристики суховейности в зоне Равнин и примыкающих районах восточной части США [194]. Построенная нами зависимость между значениями V и указанным показателем носит логарифмический характер, при этом корреляционное отношение достигает значения $\eta = 0,89$.

Касаясь воздействия погодно-климатических факторов на вариацию урожайности пшеницы, мы в основном сосредоточили внимание на тех показателях внешней среды, которые определяют условия произрастания зерновых злаков во время прохождения основных фаз их развития. Тем не менее всесторонний анализ влияния внешних условий на формирование урожая исследуемой группы культур указывает на то, что, наряду с особенностями агроклиматической обстановки периода вегетации, необходимо учитывать и условия тепло- и влагообеспеченности, складывающиеся в допосевной период. Учет влияния термического режима и атмосферного увлажнения на протяжении отдельных сезонов года в последнее время осуществляется при составлении агрометеорологических прогнозов среднеобластной урожайности озимой и яровой пшеницы в нашей стране, урожайности пшеницы в некоторых западноевропейских странах [107]. Необходимость такого учета при составлении прогноза текущего урожая подчеркнута и в исследованиях американских авторов [184, 191, 193]. По мнению некоторых из них количество осадков осени и зимы является определяющим фактором формирования урожая озимой пшеницы в зоне Великих Равнин и на северо-западе США [184, 191]. Считается также, что в основных районах выращивания яровой пшеницы на территории США и Канады предпосевные осадки — решающий фактор в формировании конечных сборов указанной формы культуры [193].

В связи с этим большое значение приобретает вопрос о чувствительности вариации урожая к сезонным характеристикам агроклиматического режима. В особенности это является важным моментом для расчетов предполагаемых изменений варибельности урожайности согласно региональным схемам сезонного перераспределения полей приземной температуры и атмосферных осадков при ожидаемых изменениях глобального климата. Исходя из этого рассмотрим зависимости изменчивости урожая пшеницы от сезонных характеристик термического режима и условий увлажнения в наиболее крупных районах зернопроизводства северного полушария.

Так, например, в [72] приведены статистические связи показателя изменчивости урожая яровой пшеницы (V_j) с суммами среднеобластных осадков в отдельные сезоны года для зерносеющей зоны СССР. С помощью корреляционной матрицы показано, что наиболее высокая корреляция отмечается между показателем V_j и суммой летних осадков — $r = -0,87$. Одновременно обнаружена и заметная сопряженность между распределением сумм осадков в смежные сезоны года.

Для оценивания степени совместного влияния сезонных осадков на погодно-климатическую вариацию урожая V_s применен метод множественной регрессии, а при выявлении наиболее значимых из указанных предикторов использована шаговая регрессия. Произведенные вычисления показали, что именно осадки летнего сезона в основном определяют пространственную вариативность урожайности яровой пшеницы в СССР. Полученное регрессионное уравнение в исходной форме имеет вид

$$\hat{V}_s = 0,635 - 0,002 \sum_{VI}^{VIII} P. \quad (4.7)$$

Ошибка определения регрессионного коэффициента при $\sum P$ в (4.7) не превышает 15 % его абсолютной величины. Значение F -критерия, равное 246,3, указывает на то, что закономерность изменения показателя V_s в большой степени обусловлена пространственным распределением средних многолетних сумм (норм) летних осадков. Данное уравнение, к примеру, удобно применять при расчетах ожидаемых изменений вариативности согласно сценариям изменения регионального режима увлажнения.

Зависимости изменчивости урожая озимой пшеницы в районах ее производства на ЕЧС от средних многолетних сумм сезонных осадков приведены в [87]. Хотя и имеет место заметный разброс корреляционных полей, связи между рассматриваемыми признаками можно считать близкими к линейным. Другим климатическим показателем для оценок возможных изменений вариации урожая озимых сортов пшеницы (V_w), кроме характеристик увлажнения, может служить средняя за сезон температура приземного слоя воздуха. Наибольший интерес для наших построений представляет средняя температура воздуха в зимний период, так как изменения термических условий более заметно будет проявляться в холодное время года [7, 114]. Кроме того, важным обстоятельством является и то, что изменчивость конечных сборов озимых культур существенно зависит от условий перезимовки, которые в немалой степени определяются промерзанием почв и отсюда выживаемостью растений. В этом отношении средняя температура зимнего периода $T_{XII} - II$ служит также важным показателем условий зимы, как и сумма отрицательных температур воздуха $\sum T_{<0} \cdot C$, поскольку пространственная корреляция между изменениями последних составляет более 0,90.

В указанной ранее работе [87] оценена корреляция между изменчивостью урожая озимой пшеницы, нормами сезонных ат-

мосферных осадков и средней температурой воздуха зимнего периода, оформленная в виде матрицы парных коэффициентов корреляции. Приведены и параметры уравнения множественной регрессии, в котором учтено влияние всех перечисленных факторных признаков. Характерно, что множественный коэффициент корреляции при этом существенно превысил парные значения и составил

$$R = 0,860 \pm 0,037 \quad (D^* = 0,739).$$

Выявление наиболее значимых предикторов осуществлено методом шаговой регрессии. Результаты вычислений представлены в табл. 4.4, где, наряду с коэффициентами исходного уравнения регрессии и его стандартизованного вида, даны соответствующие оценки F -критерия.

Таблица 4.4

Оценки параметров расчетного уравнения, полученного методом шаговой регрессии

Агроклиматический предиктор	Регрессионный коэффициент b	Ошибка регрессионного коэффициента S_b	Стандартизованный регрессионный коэффициент b'	F -критерий
$\sum P_{XII} - II$	$-8 \cdot 10^{-4}$	$\pm 3 \cdot 10^{-4}$	-0,176	5,93
$\sum P_{VI} - VIII$	$-9 \cdot 10^{-4}$	$\pm 3 \cdot 10^{-4}$	-0,497	52,19
$T_{XII} - II$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$\pm 2 \cdot 10^{-3}$	-0,553	65,90
Константа C	0,413			

Как видно из таблицы, в качестве характеристик агроклиматического режима при расчетах ожидаемых изменений вариативности урожая озимой пшеницы V_w на территории СССР целесообразно использовать такие показатели, как средние зимние температуры воздуха, суммы атмосферных осадков летнего сезона. В определенной мере можно включать и информацию о зимних осадках.

Необходимо подчеркнуть, что полученные выводы в целом не противоречат результатам исследований, проведенных на основе многолетних агрометеорологических наблюдений за состоянием посевов разных форм пшеницы в нашей стране. Как установлено, колебания сборов озимой пшеницы по годам во многом определяются изменчивостью температуры на протяжении холодной ча-

сти года, зависят от высоты залегания снежного покрова и дефицита увлажнения в летний период. При формировании урожая яровой пшеницы решающее значение имеет количество выпавших осадков в весенне-летние месяцы, особенно в июне.

Зависимости вариации урожайности озимой пшеницы от норм сезонных атмосферных осадков на североамериканском континенте скорее носят гиперболический характер. Во всяком случае это наиболее выражено для связи показателя V_w со средними многолетними суммами осенних осадков. Проведенный анализ в целом указывает на достаточно высокую сопряженность между изменением характеристики V_w и сумм осенних, зимних и весенних

осадков — $\eta > 0,7$; для зависимости между V_w и $\sum_{VI}^{\text{VIII}} P$ получено

значение $\eta = 0,66$. (Относительно летних осадков следует заметить, что построение корреляционной зависимости осуществлялось по ограниченному полю точек ввиду того, что информация об изменчивости урожайности в регионах, где широко применяется орошение, исключалась.) Результаты вычислений также свидетельствуют о наличии корреляционной связности пространственного распределения осадков в отдельные сезоны года. Нами произведена линеаризация исходных расчетных уравнений и с помощью множественной регрессии, оценено совместное влияние климатических предикторов на предиктант. Определено и значение множественного коэффициента корреляции $R = 0,820 \pm 0,033$ ($D^* = 0,672$). Для выявления наиболее значимых факторов как и в предшествующих случаях использована шаговая регрессия. На ее основе получено уравнение регрессии, связывающее вариацию урожайности V_w с нормами осадков осеннего сезона:

$$\hat{V}_w = 0,07 + \frac{5,41}{\sum_{IX} P} \quad (4.8)$$

Ошибка регрессионного коэффициента при этом составляет около 14 % его величины, значение F -критерия равно 46,5.

Зависимости изменчивости урожая яровой пшеницы от сумм сезонных осадков в районах ее производства в США и Канаде носят характер, близкий к линейным связям. Как показывает проведенный анализ, из всей совокупности характеристик сезонного увлажнения наиболее существенное влияние на устойчивость

урожайности яровых форм культуры оказывают осадки весеннего, а в северной части Равнин и летнего сезонов.

Анализируя полученные связи, нужно однако иметь в виду, что действие некоторых агроклиматических предикторов следует рассматривать не в прямой, а более опосредованной форме. Так, при оценивании влияния осадков зимнего и весеннего периодов, необходимо учесть, что часть накопленной влаги расходуется на испарение и весенний сток, а изменчивость урожая по годам в конечном счете зависит от накопления запасов почвенной влаги к основным фазам развития посевов. Поэтому представляется логичным, по возможности, включать в расчетные зависимости также и информацию о средних многолетних влагозапасах, особенно весеннего сезона. По предварительным оценкам можно судить, что при развитии потепления в умеренных широтах заметные изменения запасов почвенной влаги могут вызвать весьма ощутимые изменения в картине территориального распределения погодно-климатической изменчивости урожая зерновых культур.

4.4. Сравнительная оценка почвенно-климатических ресурсов и показателей урожайности пшеницы в зернопроизводящих зонах СССР, США и Канады

Для характеристики продуктивности земледелия ресурсы климата часто рассматривают в их неразрывной связи с почвенными ресурсами. Учет почвенно-климатических особенностей территорий чрезвычайно важен при решении задач, связанных с размещением посевов сельскохозяйственных культур, в том числе и зерновых. Среди отечественных исследований по данному направлению необходимо выделить работы А. Р. Константинова и Д. И. Шашко, в которых помимо климатического фактора учитывается и плодородие различных почв, оцениваемое по бонитировочной шкале [60, 158]. Принимая во внимание такой подход, обратимся к сравнительному анализу почвенно-климатических ресурсов и урожайности пшеницы в двух крупных зерновых поясах, расположенных в пределах Евразии и Северной Америки.

Как известно, почвенно-климатические условия для произрастания пшеницы в зернопроизводящих регионах СССР, США и Канады характеризуются рядом аналогичных черт. Такая аналогия прежде всего находит отражение в сходном характере пространственного распределения термических ресурсов и показателей увлажнения, в сопоставимости величин суммарного испаре-

ния с подстилающей поверхностью. Вследствие этого основная часть посевов пшеницы как на территории нашей страны, так и на североамериканском континенте сосредоточена в однотипных природно-ландшафтных зонах и возделывается на типах почв, близких по генетической классификации [113].

Исходя из этого представляется целесообразным провести по возможности детальное сопоставление ресурсов почв, климата и показателей урожайности пшеницы в зонах ее производства на территории нашей страны и в Северной Америке. С этой целью в табл. 4.5 и 4.6 основным типам почв, распространенным в пределах зернопроизводящих зон, приведены в соответствие почвенно-климатические ресурсы, а также показатели урожайности озимой и яровой пшеницы с указанием процента площади, занимаемой посевами.

Для характеристики почвенных ресурсов в первых графах таблиц представлены некоторые показатели качества почв в сельскохозяйственном отношении. Почвенное плодородие охарактеризовано содержанием гумуса в метровом слое и концентрацией углерода, определяющего баланс накопления органических веществ в верхних горизонтах почвы. Запасы гумуса и его процентное содержание приведены по результатам исследований И. В. Тюрина, В. В. Лаврентьева и М. М. Кононовой; почвенного углерода — на основе осредненных оценок для почв земного шара, помещенных в работе К. И. Кобак и Н. Ю. Кондрашевой [56].

Кроме того, для характеристики ресурсов почвы использованы ее агрогидрологические свойства, определяющие накопление продуктивной влаги под посевами сельскохозяйственных культур. На основе обобщения сетевых наблюдений и осреднения в пределах зерновых регионов, рассчитаны запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы под посевами озимой и яровой пшеницы в фазу колошения для разных типов почв в сельскохозяйственной зоне нашей страны (см. табл. 4.5, графа 6).

В качестве климатических ресурсов рассмотрены такие показатели агроклиматического режима, как суммы активных температур $-\sum T_{>10^{\circ}\text{C}}$, среднее количество атмосферных осадков, выпадающих как на протяжении вегетации $\sum P_{\text{вег}}$, так и всего года $\sum P_{\text{год}}$ и величина среднегодового суммарного испарения E . Суммы активных температур оценены для регионов возделывания пшеницы по картам Агроклиматического атласа мира [3]. Нормы атмосферных осадков на территории нашей страны рассчитаны по среднеобластным данным, приводимым в упомянутых ранее работах А. В. Мещерской и Н. А. Болдыревой, а также Н. И. Ефремовой и Ц. А. Швер [159]. Для расчетов сумм осадков в зернопроизводящих районах США и Канады использованы данные

сетевых метеорологических наблюдений, дополненные сведениями по климатическим секторам, публикуемым в национальных справочниках по сельскому хозяйству. Значения среднегодового суммарного испарения определены по картам Атласа мирового водного баланса и сопоставлены с данными Л. И. Зубенок [10, 48].

Показатели урожайности представлены в трех последних графах таблиц. Такими показателями для пшеницы являются: величина средней хозяйственной урожайности $У$, индекс климатической продуктивности P_i и показатель погодно-климатической изменчивости урожаев V . Указанным показателям приведен в соответствие средний процент площади посевов озимой и яровой пшеницы S (%), возделываемой на разных типах почв в условиях естественного увлажнения. При построении данной графы исключены площади под пшеницей в районах интенсивного орошения на территории нашей страны и США, а также незначительные посевы культуры на брүннземах Дальнего Востока и мерзлотных черноземах Якутии. Для расчетов средней урожайности и показателя изменчивости V привлечена динамика урожаев озимой и яровой пшеницы в административно-территориальных единицах Союза ССР, США и Канады за период с 1945 по 1980 г.

Индекс климатической продуктивности пшеницы соответствует величине интегрального фотосинтетического газообмена P_{CO_2} в межфазный отрезок цветение — колошение. Данный индекс получен с помощью параметризованной модели продуктивности агроценозов, предложенной С. П. Савватеевым, и включающей как метеорологический блок, так и физиологические константы: листовой индекс и устичную проводимость [57].

Анализируя приведенные таблицы, можно отметить, что для изменения всех составляющих почвенно-климатических ресурсов характерна общая закономерность, проявляющаяся в зональном распределении рассматриваемых характеристик. Так, например, показатели естественного плодородия почв, максимальные значения которых отмечаются на мощных черноземах (формирующихся в условиях оптимального сочетания ресурсов тепла и влаги) постепенно убывают для других почв, распространенных в зонах лимитирующего воздействия ресурсов теплообеспеченности или увлажнения. Запасы продуктивной влаги в представленных типах почвы в первую очередь отражают изменения условий атмосферного увлажнения и однонаправленно снижаются при продвижении из зоны достаточного увлажнения в регионы неустойчивого и сухого земледелия. Зональные закономерности также отражаются и в показателях урожайности. Легко заметить, что изменение зна-

Почвенно-климатические ресурсы и показатели урожайности

Тип почв	Содержание гумуса		Концентрация $C_{орг}$		$W_{(0-100)}$, мм
	т/га	%	(0—100) кг/м ²	(0—30) 100 г/м ²	
Озимая					
Подзолистые и дерново-подзолистые	99	1,5—4,0	12,0	78,3	152
Серые лесные черноземы:	175	3,0—5,0	16,0	78,3	146
оподзоленные и выщелоченные	452—549	5,0—7,0	29,7		126
мелллярно-карбонатные	709	9,0—10,0	41,1		130
типичные	563	6,0—8,0	33,3	95,7	106
обыкновенные	426—312	7,5—5,0	24,7		78
и южные					
Темно-каштановые и каштановые	229—156	4,0—2,5	11,0	56,6	72
Светло-каштановые, бурые пустынно-степные	116—62	2,0—1,0	11,0—4,5	—	58
Яровая					
Подзолистые и дерново-подзолистые	99	1,5—4,0	12,0	78,3	141
Серые и бурые лесные	175	3,0—5,0	16,0	78,3—52,2	123
черноземы:					
оподзоленные, выщелоченные, луговые	452—549	5,0—7,0	25,6—29,7		104
типичные	563	6,0—8,0	33,3	95,7	85
обыкновенные	426—312	7,5—5,0	24,7		71
и южные					
Темно-каштановые и каштановые	229—156	4,0—2,5	11,0	56,6	65
Светло-каштановые и бурые пустынно-степные	116—62	2,0—1,0	11,0—4,5	—	47

Таблица 4.5

в регионах возделывания пшеницы на территории Союза

$\Sigma T > 10^\circ\text{C}$, °C	$\Sigma P_{\text{всг}}$, мм	$E_{\text{гид}}$, мм	S , %	$\bar{Y}$, т/га	P_i , балл	V
пшеница						
1500—2500	400—550	400—550	5	1,0—1,8	5,8—6,8	0,15—0,25
2000—2700	350—400	450—550	3	1,1—1,9	6,5—6,9	0,16—0,26
2200—2800	320—380	450—580	14	1,3—2,0	6,7—7,2	0,20—0,28
2900—3300	350—400	500—600	21	1,9—2,3	7,5—8,0	0,15—0,20
2400—2900	290—370	500—550	18	1,6—2,1	6,7—7,0	0,22—0,30
2500—3100	250—300	400—520	10	1,1—1,7	6,3—6,8	0,25—0,35
2700—3200	200—270	350—420	6	1,1—1,3	5,5—6,5	0,30—0,40
2900—3300	150—200	300—400	1	< 1,0	4,5—5,5	> 0,40
пшеница						
1300—2300	400—550	400—500	3	0,8—1,5	5,5—6,7	0,20—0,25
2000—2600	350—450	450—550	3	0,9—1,3	6,4—6,8	0,22—0,27
1800—2800	320—380	430—550	21	1,1—1,4	6,6—7,1	0,27—0,32
2000—2900	290—350	400—550	9	1,2—1,5	6,5—7,0	0,30—0,34
2000—3100	250—280	350—500	19	0,9—1,2	6,1—6,8	0,35—0,40
2200—3200	150—250	280—420	31	0,65—0,85	5,0—6,0	0,41—0,45
2400—3300	100—180	250—350	2	0,40—0,60	4,0—5,0	0,46—0,55

Почвенно-климатические ресурсы и показатели урожайности в регионах

Тип почв	Содержание гумуса, %	Концентрация $C_{орг}$		$\Sigma T > 10^{\circ}C$, °C
		(0—100) кг/м ²	(0—30) 100 г/м ²	
Яровая				
Подзолистые и дерново-подзолистые	1,5—4,0	12,0	78,3	2000—3500
Бурые лесные	3,0—5,0	16,0	52,2	2000—3000
Серые лесные, черноземы выщелоченные	3,0—6,0	16,0—29,7	78,3—95,7	1600—2600
Черноземы типичные	6,0—8,0	33,3	95,7	1600—3000
Темно-каштановые и каштановые	4,0—2,5	11,0	56,6	1700—3000
Светло-каштановые, бурые пустынно-степные	2,5—1,0	11,0—4,5	—	2000—2800
Озимая				
Желтоземы и красноземы оподзоленные	2,0—3,0	12,0	48,0	4500—6500
Бурые лесные	3,0—5,0	16,0	52,2	3000—4500
Подзолистые и дерново-подзолистые	1,5—4,0	12,0	78,3	2500—4000
Бриониземы	4,0—6,0	33,3	—	2500—4500
Черноземы типичные	6,0—8,0	33,3	95,7	2700—4300
Черноземы субтропические	3,0—5,0	15,5	—	4000—5500
Коричневые и серо-коричневые	4,0—1,0	16,0	—	4200—6000
Темно-каштановые и каштановые	4,0—2,5	11,0	56,6	2500—3500
Светло-каштановые, бурые пустынно-степные	2,5—1,0	11,0—4,5	—	2700—3500

Таблица 4.6

возделывания пшеницы на территории США и Канады

$\Sigma P_{всг}$, мм	$E_{год}$, мм	S %	$\bar{Y}$, т/га	PI , балл	Y
пшеница					
500—600	600—700	0,1	1,80—2,00	6,3—7,0	0,10—0,15
550—650	580—620	0,1	1,60—1,65	6,7—6,9	< 0,10
320—430	350—450	11	1,50—1,70	6,5—6,8	0,10—0,16
300—380	400—600	18	1,40—1,55	6,6—7,1	0,19—0,24
220—300	350—480	53	1,25—1,40	5,5—6,5	0,25—0,30
150—250	300—400	2	1,20	4,5—5,5	> 0,30
пшеница					
600—750	900—1000	3	1,65—1,80	6,0—6,5	0,13—0,16
550—650	750—850	3	1,90—2,15	6,5—6,9	0,10—0,12
500—600	700—800	11	2,25—2,50	6,6—7,2	0,08—0,10
550—650	800—900	14	1,75—2,20	7,2—8,0	0,13—0,16
320—400	500—700	21	1,60—1,85	6,8—7,3	0,14—0,19
400—550	700—900	10	1,35—1,50	6,6—7,0	0,20—0,22
200—500	300—750	10	1,20—1,35	4,0—6,5	0,26—0,31
220—350	350—500	11	1,35—1,45	5,5—6,5	0,23—0,28
180—250	300—400	1	1,20	4,5—5,5	> 0,28

чения индекса климатической продуктивности пшеницы находится в тесном согласовании с пространственным изменением величины суммарного испарения, включающего процесс транспирации посевов. Подобным образом закономерности погоднo-климатической изменчивости урожаев согласуются с распределением гидро-термических показателей — высокие значения V отмечаются для зоны неустойчивого увлажнения с избыточными ресурсами теплообеспеченности.

Рассматривая величину средних урожаев, следует обратить внимание, на то, что, наряду с воздействием почвенно-климатических условий, уровень хозяйственной урожайности существенно зависит от состояния агротехнической оснащенности обрабатываемых площадей — что отражается в диапазонах изменения средней урожайности. По этой же причине средние показатели урожайности на почвах менее плодородных (например подзолистых) могут превысить соответствующие показатели на черноземах или других почвах, обладающих более высокими качественными признаками в сельскохозяйственном отношении.

Переходя к общему сравнению оценок, приведенных в таблицах, кратко остановимся на их сравнении внутри таблиц. Так, представленные оценки для озимой и яровой пшеницы на территории СССР показывают, что в целом посевы озимой пшеницы сконцентрированы на более плодородных почвах и расположены в более благоприятных климатических условиях для выращивания зерновых культур. К примеру, их процент площади на черноземах составляет более 60 % занимаемых площадей. Посевы яровой пшеницы, напротив, преобладают в засушливой зоне на каштановых почвах, где их площади примерно в 5 раз превышают площади озимых сортов. Сравнение величин влагозапасов указывает на то, что содержание продуктивной влаги под посевами озимой пшеницы в среднем на 10—20 % выше, чем под посевами яровой на тех же почвах. Такое различие объяснимо как более благоприятными условиями увлажнения в основной зоне возделывания озимых пшениц, так и уменьшением потерь влаги с поверхности почвы посевами озимых благодаря более быстрому развитию корневой системы и наступлению главных фаз. Урожайность озимых сортов в среднем на 25—30 % выше, чем яровых.

Распределение площадей под пшеницей на разных почвах в зернопроизводящем поясе Северной Америки в общих чертах сходно с их распределением на зерносеющей территории СССР. Наибольший процент площади посевов озимых пшениц приходится на черноземовидные почвы и черноземы — около 50 %. Сорта яровой пшеницы, напротив, возделываются на каштановых по-

чвах в более сухих районах Великих Равнин. По урожайности озимые сорта превосходят яровые в среднем на 10—15 %. В субтропическом поясе урожайность несколько ниже, чем на черноземах, что находится в соответствии с показателями плодородия и продуктивностью климата. Высокая хозяйственная урожайность характерна для регионов интенсивного земледелия в зоне лесных почв: средняя за выбранный временной отрезок урожайность здесь составляет 2,0—2,5 т/га.

Сопоставление оценок урожайности в двух крупных зернопроизводящих зонах свидетельствует о том, что фон урожайности пшеницы в регионах США и Канады несколько выше, чем на зерносеющей территории нашей страны. Данное обстоятельство объяснимо, с одной стороны, различием уровней агротехнологии производства зерна, определяющихся степенью химизации и энерговооруженности полеводства. Но в этой связи нельзя не отметить и воздействие объективных факторов, приводящих к деструкциям в сельскохозяйственной экономике — например, последствия войны существенно сказались в нашей стране на развитии полеводства, особенно в период первых послевоенных пятилеток. Анализ экономических показателей развития полеводства в последующих десятилетиях указывает на тенденцию заметного сближения объемов производства зерна пшеницы в указанных зонах северного полушария. Этот факт, к примеру, подтверждается сравнением среднего уровня урожайности пшеницы на черноземах гумусных, а также на обыкновенных и аналогичных им по свойствам субтропических черноземах. На почвах лесной зоны достигнутая хозяйственная урожайность пшеницы в США и Канаде пока остается выше, чем в нашей стране. Разная степень окультуренности обрабатываемых площадей определенным образом сказывается на показателях урожайности в засушливых зонах.

Объяснение различий в показателях урожайности только за счет уровня культуры земледелия будет весьма односторонним и далеко не полным, если не обратиться к сравнению почвенно-климатических ресурсов зернопроизводящих зон. Сравнение почвенных характеристик в целом указывает на сходство почв по их признакам плодородия. Что касается климатических показателей, то наблюдается заметное различие ресурсов тепло- и влагообеспеченности в однотипных природно-ландшафтных комплексах. Так, условия для произрастания пшеницы на лесных почвах в умеренной зоне североамериканского континента характеризуются более высокими ресурсами теплообеспеченности, чем в аналогичной зоне на территории нашей страны. Например, в районах возделывания пшеницы на подзолах и бурых лесных почвах в США и Канаде $\sum T_{>10^{\circ}\text{C}}$ на 1000—1200 °C превышают соответствующие суммы температур в районах нашей страны. Величина испарения также выше примерно в 1,3 раза. Ввиду этого

индекс климатической продуктивности пшеницы для лесной зоны Северной Америки на 8—10 % выше, чем для лесной зоны СССР.

Климатические ресурсы лесостепных районов зернопроизводящих зон, относящихся к зоне достаточного увлажнения, во многом сходны, что подтверждается из сопоставления характеристик климата и продуктивности пшеницы. Тем не менее, нормы атмосферных осадков вегетационного периода в регионах США и Канады несколько выше, чем на соответственной территории нашей страны. Еще более заметное отличие в условиях увлажнения наблюдается для зон неустойчивого земледелия, свойственного степным и сухостепным районам. Наиболее наглядно влияние особенностей погодно-климатических условий прослеживается в межгодовой изменчивости хозяйственных урожаев. Сравнение оценок V свидетельствует о большой неустойчивости урожайности пшеницы в основной зоне возделывания на территории нашей страны. Повышенная вариабельность урожаев озимой пшеницы в регионах нашей страны по сравнению с изменчивостью урожаев озимых форм культуры в США и Канаде обусловлена, наряду с различием ресурсов влагообеспеченности, и менее благоприятными условиями перезимовки, иногда приводящими к вымерзанию посевов озимой пшеницы на значительных площадях в континентальных районах.

Более выраженная неустойчивость урожайности яровой пшеницы в засушливой зоне нашей страны прежде всего вызвана высокой межгодовой изменчивостью количества выпадающих атмосферных осадков, особенно на протяжении вегетационного периода, при низкой их норме. Сопоставление сумм осадков в засушливых зонах показывает, что в регионах США и Канады количество выпадающих атмосферных осадков в период главных фаз на 70—80 мм превышает их соответственное количество в континентальных районах нашей страны. Сравнение оценок изменчивости урожаев яровой пшеницы с агроклиматическими показателями частоты появления засух, также дает возможность определить, что снижения хозяйственной урожайности, вызванные засухами, на зерносеющей территории нашей страны наблюдаются примерно в 1,3 раза чаще, чем в зоне выращивания пшеницы в Северной Америке.

В заключение изложенного отметим, что приведенные результаты и выводы могут быть использованы не только при всестороннем анализе влияния почвенно-климатических факторов на урожайность зерновых культур в условиях современного климата, но могут и явиться необходимой основой для получения перспективных оценок, учитывающих все нарастающие изменения в климатической системе.

Глава 5. ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ УРОЖАЕВ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

5.1. Изменения современного климата и условия произрастания зерновых культур

В настоящее время все более широкое социальное звучание приобретает вопрос о нарастающих глобальных изменениях современного климата. К основной причине таких изменений относят быстрый рост концентрации парниковых газов в атмосфере вследствие усиливающегося влияния хозяйственной деятельности на химический состав атмосферного воздуха. По эмпирическим исследованиям установлено, что на протяжении индустриального периода развития общества (до середины 80-х гг.) средняя глобальная температура приземного слоя воздуха повысилась примерно на 0,6 °C, и, судя по обработанным за последние годы данным, тенденция к ее повышению продолжает сохраняться [174, 185].

Проблеме антропогенных изменений климата уделено весьма пристальное внимание мирового сообщества. Достаточно подчеркнуть, что учеными разных стран признается неизбежность наступления глобального потепления. В этой связи разрабатывается комплекс совместных программ исследований, направленных на всестороннее изучение характера предстоящих климатических изменений и последствий этих изменений в социальных сферах — сельскохозяйственном производстве, строительстве, транспорте, использовании водных ресурсов и др.

Касаясь данной проблемы, следует указать на сложность и многогранность задач, возникающих при ее решении. Последнее обстоятельство связано с высокой чувствительностью климатической системы к воздействию различных климатообразующих факторов, а также с наличием обратных связей между компонентами этой системы и свойством ее инерционности.

Состояние вопроса об изменениях климата, вызываемых антропогенным ростом содержания углекислого газа и других малых газовых составляющих в атмосфере (что приводит к усилению вклада парникового эффекта в изменения приземной температуры

на фоне естественной климатической изменчивости¹) отражает серия публикаций международного уровня [102, 116, 198, 199].

Среди теоретических исследований по данному вопросу выделяются работы М. И. Будыко, в которых изложены многие стороны проблемы современных изменений климата и раскрывается ее сущность [22, 23, 24]. Ряд важных выводов для понимания причин и механизмов, приводящих к климатическим изменениям в будущем, содержится в работах других авторов — О. А. Дроздова, И. Л. Кароля, Э. К. Бютнер, К. Я. Винникова и др., а также в некоторых зарубежных исследованиях [114, 186, 195, 205].

В основу способов предсказания климатических условий ближайших десятилетий и более отдаленного будущего положено два подхода. Первый из них базируется на эмпирическом анализе как данных о современном климате, так и о климатах прошлого геологического времени. Следует отметить, что использование палеоклиматической информации оказывается чрезвычайно полезным инструментом для понимания характера и масштабов ожидаемых изменений климата. Достоверно установлено, что повышение температуры в теплые интервалы геохронологической шкалы прежде всего вызвано возрастанием концентрации парниковых газов (углекислого газа, метана и др.) в химическом составе древней атмосферы. Все это свидетельствует в пользу того, что палеоклиматические условия отдельных теплых эпох (межледниковий) и периодов могут рассматриваться в качестве наиболее близких аналогов будущей климатической обстановки [23].

Второй подход заключается в численном моделировании климата. В этих целях ведется разработка новых и совершенствование уже созданных моделей, которые воспроизводят широтно-временное и пространственное распределение характеристик климата. Просчет климатических сценариев осуществляется на заданных (соответствующих равновесным состояниям климата) уровнях повышения концентрации парниковых газов, пересчитанной на CO_2 . Обычно для обозримого будущего (примерно середины XXI столетия) расчеты ведутся исходя из двухкратного увеличения концентрации CO_2 в атмосфере по сравнению с доиндустриальным значением.

Использование указанных подходов дает возможность определить тенденции изменений климата на перспективу не только в глобальном, но и региональном разрезе. Согласно полученным в настоящее время оценкам, развитие потепления в первой четверти следующего столетия более заметно проявится в высоких ши-

ротах, чем в низких (причем в холодное время года будет более выражено, чем в теплое). Количество атмосферных осадков в умеренных широтах в целом возрастет, хотя в континентальных районах с неустойчивым характером увлажнения условия могут стать и более засушливыми. Для более отдаленной перспективы ожидается последующее развитие тенденции увеличения количества выпадающих осадков и испарения. Оценки распределения влагосодержания в почве несколько менее определены [114].

Резюмируя краткое введение в существо проблемы современных изменений климата, отметим крайнюю ценность перечисленных выше выводов для анализа и оценок последствий этих изменений в отраслях сельского хозяйства.

Рассмотрению влияния изменений климата на сельскохозяйственное производство посвящено достаточное количество отечественных и зарубежных публикаций [70, 99, 157, 180, 203, 211, 213]. Среди отечественных изданий, обобщающих состояние вопроса, следует выделить соответствующие разделы монографий „Антропогенные изменения климата” (1987), „Предстоящие изменения климата” (1991), в которых проводится комплексный анализ разных форм агроклиматических последствий изменений климата [7, 114]. По мнению Г. В. Менжулина, сценарии будущей агроклиматической обстановки должны отражать изменения по крайней мере трех основных характеристик: климатической продуктивности агрофитоценозов, показателя вариабельности урожаев и продолжительности периода, доступного для вегетации.

Что касается оценок изменения климатической продуктивности, то в модельных расчетах, наряду с особенностями температурно-влажностного режима, принимается во внимание повышение концентрации углекислого газа, влияющее на фотосинтез и сопутствующие ему метаболические процессы. Оценки изменения продолжительности вегетационного периода основаны на учете связей между изменением приземной температуры и сумм активных температур.

Остановившись на оценках ожидаемых изменений вариабельности урожаев, можно отметить следующие результаты уже проведенных ранее исследований. В основу первоначально принятого сценария региональных изменений вариабельности урожайности (главным образом пшеницы) положены оценки изменений сезонных сумм осадков в умеренных широтах при потеплении экваториальной части северного полушария на $0,5^\circ\text{C}$.

Исходя из характера региональных изменений режима атмосферного увлажнения определены диапазоны изменений показателя вариабельности урожаев в зернопроизводящих зонах нашей страны, США и Канады для данного уровня развития потепления. Полученные результаты, оформленные в виде карт, в целом ука-

¹ Эта изменчивость обусловлена влиянием вулканической деятельности, изменением солнечной постоянной и другими факторами естественного происхождения.

зывают на тенденцию возрастания неустойчивости урожаев пшеницы в континентальных районах вследствие уменьшения количества выпадающих осадков [2, 96].

В дальнейшем оценки регионального перераспределения вариабельности урожайности были существенно детализированы и уточнены. В частности, в [87] представлены оценки ожидаемой изменчивости урожая озимой пшеницы на ЕЧС (сценарий потепления на 0,5 °C) на основе учета совместного влияния региональных изменений термических условий холодного периода и увлажнения в теплую часть года. Некоторые выводы, полезные для понимания характера предполагаемых изменений вариабельности урожая, также изложены в [72], где приводится статистическая связь между выбранными уровнями изменчивости урожая яровой пшеницы и вероятностью наступления таких экстремальных явлений, как засухи.

Наряду с регрессионным методом оценивания ожидаемой изменчивости урожая, эмпирический анализ данных с конца 70-х гг. независимым образом позволяет установить, что изменения климата все более ощутимо сказываются на условиях произрастания культурных растений. В первую очередь это подтверждается особенностями динамики межгодовых колебаний урожайности в регионах умеренных широт. Так, например, на протяжении 80-х гг. хозяйственная урожайность зерновых в нашей стране испытывала значительные снижения в 1981, 1984, 1988 гг. Наиболее резко выражены они были для яровых форм пшеницы и ячменя.

В западноевропейском регионе в начале 80-х гг. отмечались недороды пшеницы и ячменя на Пиренейском полуострове; в 1988 г. имел место недобор зерна кукурузы в Румынии и Югославии. На территории США сборы пшеницы сокращались в 1980, 1984 и особенно сильно в 1988 г. Недостаточно благоприятные условия для формирования урожая культуры также сложились в 1989 г. Резкие спады урожайности кукурузы, сравнимые по величине с аномалиями в 30-е гг., наблюдались в США во второй половине 80-х гг. — в 1986, 1988, 1989 гг. Катастрофический недород яровой пшеницы и ржи в Канаде, случившийся в 1988 г., по своему ущербу сравним лишь с недородом 1961 г.

Установлено, что в большинстве случаев главной причиной потерь продукции полеводства является частое возникновение крупномасштабных и продолжительных засушливых явлений. Характеризуя засуху 1988 г. на Великих Равнинах США, американские специалисты отмечают, что „в Канзасе в 1988 г. была почти бесснежная зима; в Техасе — зимой выпало менее 8 % нормы осадков и даже в штатах, получивших больше снега, чем предыдущей зимой (Северная Дакота, Монтана и др.) — везде

весной почва была настолько сухой..., что не давала надежды, что семена прорастут и дадут урожай”.

Естественно, изменение агроклиматических условий не могло не иметь резонанса в формировании картины мировой продовольственной ситуации. Воздействие неблагоприятных факторов внешней среды существенно усугубило и без того усиливающуюся с начала 80-х гг. тенденцию к замедлению темпов роста производства зерна в главных центрах мирового земледелия. В результате такого положения в мировом зерновом хозяйстве начала складываться критическая ситуация, достигшая апогея к 1988 г. По этой причине Л. Браун, оценивая ресурсы продовольствия на конец 1988 г., вынужден был признать, что такое резкое сокращение мирового урожая зерна „еще не имело подобных прецедентов” (Worldwatch paper, 1988). Как отмечает Н. М. Брагина, „детонатором” возникшей ситуации стали США и Канада, которые понесли наибольшие потери суммарного валового сбора зерна (сбор по сравнению с 1987 г. сократился более чем на 30 %; в США недобор достиг 83 млн. т). Свой вклад в засуху 1988 г., сравнимую по воздействию с пыльными бурями 30-х гг., внес также процесс эрозии почв, что вызвало истощение сельскохозяйственных земель и необходимость срочной распахивки значительной части паров [19]. Наглядное представление о динамике снижений урожайности в регионах зернопроизводства США и Канады на протяжении 80-х гг. дают сведения, помещенные в табл. 3.4.

Обозревая современную агроклиматическую обстановку, необходимо остановиться и на рассмотрении условий произрастания главных продовольственных культур в регионах нашей страны. Для этой цели будет удобным обратиться к динамике среднеобластной урожайности и показателя тепловлагообеспеченности Д. А. Педя (S_p) в последние годы.

Можно отметить, что в первой половине 80-х гг. в засушливые 1981 и 1984 гг. ($S_p > 0$ на обширной территории) снижения урожайности происходили в центральной части ЕЧС и в некоторых областях Северного Казахстана. Однако недобор зерна практически не наблюдался в пределах южной Украины и Северо-Кавказского экономического района.

Во второй половине 80-х гг. положение несколько изменилось. Это выразилось в том, что недороды пшеницы и других зерновых культур (ячменя, овса) в неурожайном 1988 г. в большей мере проявились в лесостепной полосе (главным образом Среднего Поволжья) и в Предуралье. Одновременно с этим резкий спад урожайности зерновых имел место в Северном экономическом районе (в Архангельской и Вологодской областях конечная урожайность оказалась почти в 2,5 раза ниже достигнутого среднехозяй-

ственного уровня). Заметные потери урожая также зафиксированы в ряде областей Центрального и даже Северо-Западного экономических районов.

Условия для выращивания пшеницы и других зерновых в Нижнем Поволжье, степной части ЦЧР и Украины, на Северном Кавказе, в Алтайском крае и Восточном Казахстане, напротив, оказались более благоприятными по сравнению с 1981—1985 гг.

Наличие такого факта, отраженное в [4], обусловлено прежде всего особенностями регионального распределения количества осадков, выпадающих на протяжении главных фаз развития зерновых культур. В последнем можно вполне достоверно убедиться из анализа сведений о среднеобластных суммах осадков за май—июнь и май—июль с 1986 по 1988 г. В указанный период выраженный дефицит осадков наблюдался в северной части ЕЧС, Волго-Вятском и Уральском экономических районах, а также на территории республик Поволжья и некоторых областей Западной Сибири. В среднем осадки здесь составляли около 70 % их нормы.

На протяжении указанных лет осадки выше нормы зафиксированы в областях Нижнего Поволжья, в степной части ЦЧР, в Ростовской области, Ставропольском и Краснодарском краях. В 1988 г. они существенно превысили норму на территории Гурьевской, Актюбинской, Кустанайской областей и на востоке Казахстана.

Следует отметить, что характер распределения атмосферных осадков в последние годы во многих чертах совпадает с общей картиной изменения их региональных сумм согласно сценариям глобального потепления в пределах 0,5—1,0 °C.

5.2. Глобальный термический режим и изменчивость урожаев

В связи с изменениями современного климата особый интерес представляет вопрос о влиянии глобального термического режима на изменчивость урожаев за продолжительный охватывающий последнее столетие временной интервал. Как подчеркивается исследователями, при анализе свойств глобальной климатической системы, осредненными характеристиками приземной температуры воздуха придается наиболее важное значение [7, 22, 24, 29]. Это связано с тем, что глобально осредненная приземная температура рассматривается в качестве основной переменной, описывающей изменения современного климата. Вместе с этим отметим, что употребление термина „глобальный термический режим“, также

применительно к показателям приземной температуры, осредненной для широт Северного полушария, поскольку именно здесь сосредоточена мировая сеть метеорологических станций, ведущих длительные наблюдения. К тому же, изменения в глобальной климатической системе во многом определяются их изменениями в северном полушарии, где сконцентрировано производство и население планеты [29].

Анализ аномалий средней температуры воздуха в северном полушарии с конца прошлого столетия указывает на то, что их вековой ход определяется изменениями прозрачности атмосферы (колебаниями радиации) и ростом концентрации парниковых газов в атмосфере. Действие последнего фактора приводит к возникновению тенденции роста температуры. Это отчетливо прослеживается во временных рядах отклонений средней температуры по полушарию, в отдельных широтных зонах полушария в разные сезоны года и в целом в изменениях средней приземной температуры по земному шару [215].

Наряду с аномалиями температуры, для дальнейших сопоставлений представляет интерес также рассмотрение векового хода аномалий среднего меридионального градиента температуры

$\gamma = -\frac{\partial T}{\partial \varphi}$. Например, в [22] показано, что при повышении средней температуры воздуха и снижении меридиональных градиентов температуры возникает тенденция к уменьшению количества атмосферных осадков в регионах неустойчивого увлажнения, что в конечном счете приводит к образованию и развитию засушливых явлений, вызывающих неурожаи. История вопроса о влиянии изменений термического режима на условия увлажнения в сельскохозяйственных зонах, начиная с работ В. Ю. Визе, подробно изложена в [94 а].

Для оценок влияния характеристик термического режима на изменчивость урожаев привлечены следующие временные ряды:

- отклонений средней годовой глобальной температуры приземного слоя воздуха в широтной зоне 0—90° с. ш., 0—60° ю. ш.;
- отклонений средней годовой приземной температуры воздуха во внеэкваториальной части северного полушария (17,5—87,5° с. ш.);
- отклонений средней месячной температуры воздуха в мае и июне в северном полушарии (0—90° с. ш.);
- аномалий среднего меридионального градиента приземной температуры за весенний и летний сезоны в широтной зоне 25—75° с. ш.;
- отклонений урожайности пшеницы мира с 1901 по 1989 г.;
- отклонений урожайности яровой пшеницы в умеренных широтах северного полушария с 1910 по 1989 г.;

— отклонений урожайности яровой пшеницы на ЕЧС с 1881 по 1980 г.;

— отклонений урожайности пшеницы и кукурузы в США с 1881 по 1989 г.;

— отклонений урожайности пшеницы в Канаде с 1908 по 1989 г.;

— отклонений урожайности пшеницы в Великобритании с 1881 по 1989 г.

Динамика отклонений (аномалий) урожайности зерновых культур получена путем исключения агротехнических тенденций в исходных рядах фактических урожаев. Трендовая урожайность исчислена на основе применения аналитических временных функций (в тех случаях, когда динамика факторов агротехнологии отсутствовала). Для кукурузы и пшеницы в США тренд урожайности рассчитан на основе динамики доз вносимых минеральных удобрений; до 1920 г. в качестве агротехнического показателя рассмотрены дозы ежегодно вносимых Commercial fertilizers и известных удобрений.

В целях сопоставления характера изменений приземной температуры и колебаний урожайности в глобальном масштабе проведена корреляция аномалий урожайности пшеницы мира с отклонениями средней годовой глобальной температуры. Рассчитанное значение парного коэффициента корреляции $r = -0,23$ свидетельствует о статистической значимости данной оценки на 99 %-ном доверительном интервале при заданной длительности временных выборок. Однако, как и следовало ожидать, абсолютное значение коэффициента корреляции невысоко, что объясняется большой совокупностью слагаемых, входящих в рассматриваемые характеристики. Например, отклонения урожайности пшеницы мира складываются из ежегодных флуктуаций урожаев в разных широтах, к тому же эти флуктуации значительно смещены во времени и сильно зависят от региональных особенностей произрастания культуры.

Учитывая сказанное, обратимся к анализу изменений приземной температуры воздуха и флуктуаций урожайности в пределах северного полушария, где сосредоточена основная часть территорий, производящих товарное зерно. Сравнение хода отклонений среднегодовой приземной температуры во внеэкваториальных широтах ΔT и урожайности ΔU в крупных странах-зернопроизводителях указывает на существование связи между температурными флуктуациями и появлением аномалий в динамике урожаев зерновых культур. Как правило, резкие спады урожайности по годам отвечают повышениям среднегодовой приземной температуры, в то время как снижения температуры соответствует увеличению сборов земледельческой продукции.

Еще более показателен в этом отношении сравнительный анализ колебаний урожаев по годам с ежегодными отклонениями средней месячной температуры в мае и особенно в июне, т. е. в те месяцы, когда происходит интенсивное развитие хлебных злаков в широтах северного полушария. Если, к примеру, сравнить ход флуктуаций осредненной по полушарию температуры в июне с аномалиями урожайности яровой пшеницы на ЕЧС с 1881 г., то можно обнаружить следующую закономерность. Она состоит в том, что резкие спады урожая культуры в целом ряде случаев соответствуют значительным приращениям температуры, которые присутствуют во временных изменениях ΔT_{VI} . Такое практически полное соответствие наблюдается для конца прошлого — начала текущего столетия в неурожайные 1885, 1889, 1891, 1906, 1911 гг. Затем имеет место в катастрофических по недоборам зерна 1920 и 1921 гг. В период развития тенденции повышения июньской температуры значительный недород соответствует температурному пику в 1931 г.; неурожай 1936 г. скорее отвечает гребню повышения температуры, приходящемуся на середину 30-х гг. В последующие десятилетия (после непродолжительного снижения в 60-е гг.) дальнейший рост T_{VI} , сопровождаемый эпизодическим появлением пиков температуры, также вызвал снижения урожаев яровой пшеницы в 1975, 1977 гг. и на протяжении 80-х гг.

Некоторые неурожай, однако, не удается объяснить резкими флуктуациями в сторону повышения осредненной по полушарию температуры июня — например, в засушливом 1946 г. По всей видимости, это связано с тем, что погодные ситуации конкретных лет во многом обусловлены особенностями циркуляционных процессов, формирующихся над континентами. Тем не менее возникновение недородов иногда можно проследить с небольшим запаздыванием (обычно на один год) после появления флуктуаций температуры — например, в 1897, 1901, 1916, 1954, 1984 гг.

Во многих чертах сходная закономерность выявляется и при сравнении характера флуктуаций T_{VI} с колебаниями урожаев пшеницы и кукурузы на территории США. Так, в начале векового хода, в 1885, 1888, 1896, 1900, 1911 гг. снижения урожайности пшеницы отвечают выраженным флуктуациям температуры, и лишь в 1916 г. отмечается запаздывание недорода на один год. Повышение температурного фона в 30-е гг. сопровождается серией недородов начиная с 1933 и до 1938 г. В 1949 г. потеря зерна пшеницы наблюдается после пика температуры в 1948 г. (наиболее отчетливо это прослеживается в изменениях температуры мая). Неурожай 1974 г. следует за резкой амплитудой колебания температуры 1973 г.; спад урожайности в 1988 г. имеет

место в период повышения температуры на протяжении 80-х гг., после пика 1987 г.

Аналогичным образом, возникновение недородов кукурузы достаточно часто сопровождается флуктуациями температуры в сторону ее повышения в предшествующие годы — например, в 1886, 1890, 1897, 1913 гг. Неурожаи культуры также группируются на повышенных температурных фонах в 30-е и 80-е гг. В 1980, 1983 гг. появление недородов полностью совпадает с положительными пиками июньской температуры.

Период снижений урожайности яровой пшеницы в Канаде с 1918 по 1921 г. соответствует подъему июньской температуры в указанные годы. Недород 1931 г. приходится на ее максимум, а серия дальнейших неурожаев прослеживается на общем фоне повышения температуры. Резкие спады урожаев в 1954 и 1961 гг. следуют за флуктуациями T_{VI} в 1953 и 1960 гг. Неурожай 1967 г. совпадает с самой мощной положительной флуктуацией майской температуры за период с 1958 по 1972 г. На протяжении 70-х и 80-х гг. значительные недоборы зерна яровой пшеницы в Канаде имеют место в те же годы, что и для культур, возделываемых в США.

Недороды пшеницы в Великобритании, которые отмечаются заметно реже, чем в зонах зернопроизводства нашей страны, США и Канады, в определенных случаях также можно связать с флуктуациями глобального термического режима. Например, такая связь прослеживается для 1900, 1912, 1936—1937, 1947, 1960, 1987 гг., что соответствует появлению выраженных положительных аномалий температуры. Что касается сильного неурожая, вызванного аномально сухими условиями 1976 г., то он наблюдался при снижении осредненной по полушарию температуры. Однако в предшествующем 1975 г. температура была заметно выше, чем в 1976 г.

Определенное представление о степени связности колебаний урожаев с ходом отклонений осредненной по полушарию температуры июня дают оценки коэффициентов корреляции, приведенные в табл. 5.1.

Сравнивая данные оценки, можно установить, что чувствительность вариаций урожайности к изменениям температуры выше для тех территорий, в пределах которых посевы сосредоточены в менее увлажненных континентальных регионах. В условиях влажного климата (например, в Великобритании) корреляция между флуктуациями $+ΔT_{VI}$ и $-ΔU$ достаточно низкая. Следует отметить, что значения коэффициентов корреляции наиболее высоки для культур, произрастающих в США. Это позволяет предположить, что, по всей видимости, термические флуктуации,

Таблица 5.1

Корреляция между сглаженным ходом отклонений средней месячной температуры июня (0—90° с. ш.) и сглаженными аномалиями урожаев зерновых культур

Интервал скользящего сглаживания, годы	Пшеница (Великобритания)	Яровая пшеница (ЕЧС)	Пшеница (Канада)	Пшеница (США)	Кукуруза (США)
3	—0,02	—0,18	—0,24*	—0,26*	—0,32*
5	—0,01	—0,23*	—0,32*	—0,35*	—0,46*
7	—0,10	—0,30*	—0,39*	—0,45*	—0,53*
9	—0,21*	—0,37*	—0,47*	—0,54*	—0,58*

*Оценки r статистически значимые на уровне $\alpha = 0,01$.

влияющие на условия увлажнения отдельных лет, оказывают больший эффект в субвлажной зоне, где преобладают посевы высокоурожайных культур, чувствительных к резким изменениям агроклиматического режима.

В качестве иллюстрации к изложенному на рис. 5.1 показана вековая динамика флуктуаций средней температуры июня (0—90° с. ш.), а также ее сглаженный ход, сопоставленный со сглаженным ходом абсолютных отклонений урожайности кукурузы в США (т/га). Как видно из рисунка, наблюдается отрицательная корреляция между сглаженными за десятилетний интервал изменениями $Δ\bar{T}_{VI}$ и $Δ\bar{U}$, причем это прослеживается на всех участках временных выборок. На рис. 5.1 а также можно проследить наличие возрастающего тренда в изменении июньской температуры, обусловленного причинами, о которых упоминалось в разделе 5.1 и в начале раздела 5.2. Для графика рис. 5.1 б характерно возрастание амплитуд отклонений $Δ\bar{U}$ во времени, что связано с совершенствованием селекции сортов, приводящим к росту продуктивности кукурузы. Следует заметить, что ход отклонений урожаев кукурузы на рис. 5.1 б не противоречит укороченному ходу на рис. 3.1 б (см. главу 3), отражающему характер условий увлажнения в период 1920—1977 гг. На обоих рисунках сохраняется волнообразная картина колебаний урожайности, вызванная особенностями режима осадков на протяжении этого периода.

Необходимо отметить, что асинхронность хода сглаженных аномалий температуры и урожайности прослеживается не только

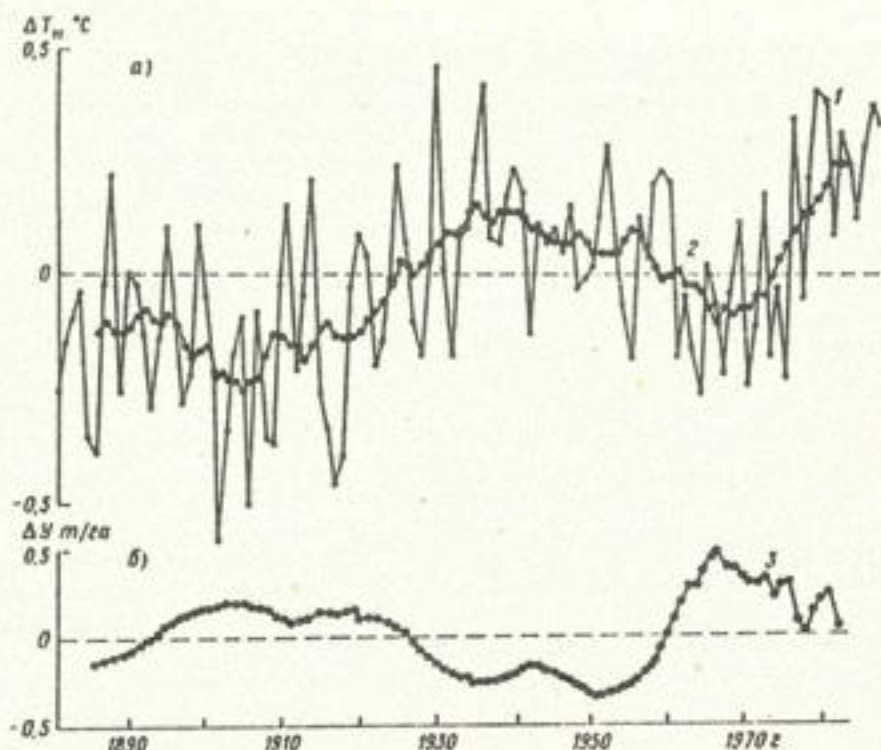


Рис. 5.1. Сравнение сглаженного хода аномалий температуры воздуха в июне для северного полушария (2) и сглаженных отклонений урожайности кукурузы в США (3).
1 — ежегодные аномалии температуры воздуха в июне.

для температуры июня. Подобная закономерность сохраняется и в тех случаях, если в качестве климатической переменной мы выберем осредненную по полушариям температуру в мае, другие месяцы или в целом за год. В определенных случаях такой выбор будет вполне оправдан, особенно для озимых культур, отличающихся более продолжительной вегетацией.

При сопоставлении межгодовых колебаний урожаев с вековым ходом среднего меридионального градиента приземной температуры также обнаруживается сопряженность в изменениях указанных характеристик. Сравнительный анализ хода аномалий y за весенний и летний сезоны в широтной зоне $25 - 75^\circ$ с. ш. и хода отклонений урожайности ΔY в умеренных широтах полушария позволяет выявить следующую характерную особенность

их динамики. Эта особенность сводится к тому, что уменьшениям значений y ($y < 0$), приходящимся на периоды потепления, соответствует учащение спадов урожаев. Закономерность такого рода достаточно отчетливо просматривается как при сравнении исходных временных рядов y и ΔY , так и рядов их сглаженных показателей. Например, если проанализировать изменчивость урожаев яровой пшеницы по годам на ЕЧС и в Канаде, то можно убедиться, что в целом колебания ΔY отвечают ходу аномалий меридионального градиента температуры, особенно в летний сезон. При этом в обоих случаях корреляция оказывается значимой на 99 %-ном доверительном интервале уже для исходных временных реализаций, возрастает по мере увеличения интервала сглаживания и достигает значений $r > 0,5$ при десятилетнем скользящем осреднении.

Для пшеницы, возделываемой в США, корреляция между сглаженными отклонениями урожайности и y несколько ниже — $r < 0,4$, что, по-видимому, объясняется преобладанием озимых форм культуры, более устойчивых к воздействию засух, учащающихся при снижениях меридионального градиента температуры. В вариациях урожайности кукурузы большая чувствительность проявляется к изменению y в весенний период, чем в летний. Для Великобритании коэффициенты корреляции между y и ΔY низки и значимы лишь при сглаживании высокого порядка.

Поскольку яровые формы культур наиболее восприимчивы к изменениям климатических условий их произрастания, представляет интерес проследить чувствительность вариации урожаев яровой пшеницы как культуры в целом к изменению среднеширотного хода y . С этой целью вычислены ежегодные абсолютные отклонения урожаев яровой пшеницы (т/га) в широтной зоне $45 - 55^\circ$ с. ш. за период с 1910 по 1989 г. При получении динамики ΔY , изображенной на рис. 5.2 б, использованы ежегодные данные о посевных площадях и валовых сборах яровой пшеницы в СССР, США и Канаде, на долю которых приходится примерно 85 % ее суммарного сбора в умеренном поясе северного полушария.

Для дальнейших сравнений обратимся к рис. 5.2, где приведены 5-летний сглаженный ход y в весенний сезон (рис. 5.2 а) и сопоставленные с ним отклонения урожаев яровой пшеницы (рис. 5.2 б). Анализируя графики рисунка, можно отметить определенную согласованность в характере изменения выбранных показателей. В частности видно, что периодам увеличения меридионального градиента температуры отвечают фазы подъема урожайности, в то время как при уменьшении y наблюдаются пониженные урожаи. Характерно, что выраженные снижения урожайности яровой пшеницы приходятся на 30-е, конец 40-х гг.,

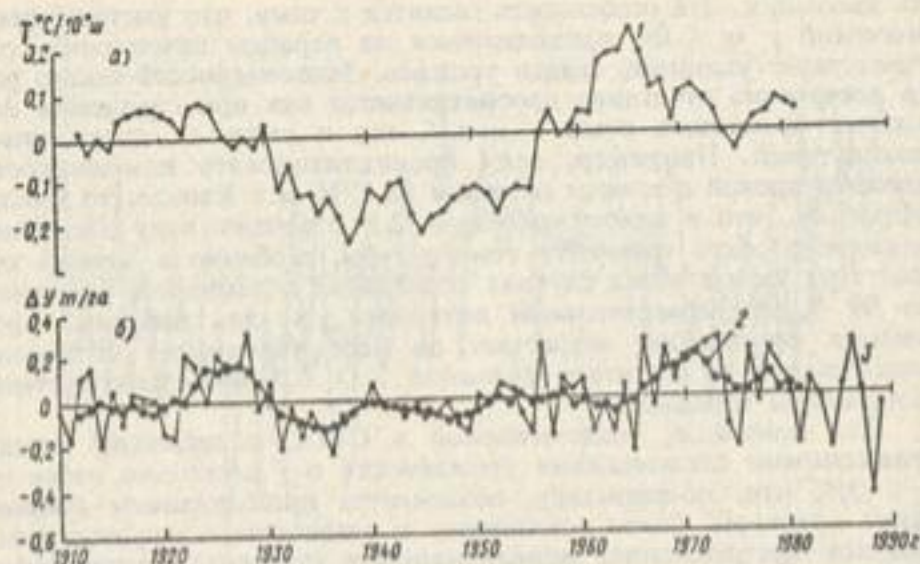


Рис. 5.2. Сравнение сглаженного хода аномалий меридионального градиента температуры в весенний сезон (1) и сглаженных отклонений урожайности яровой пшеницы в умеренных широтах полушария (2).
3 — ежегодные отклонения урожайности.

а также на середину 70-х гг., т. е. на тот временной интервал, когда происходили наиболее резкие уменьшения меридионального градиента температуры как на протяжении весеннего, так и летнего сезонов.

Поскольку вековой ход среднего меридионального градиента температуры существенно влияет на режим атмосферного увлажнения, изменчивость урожаев также целесообразно сопоставлять с многолетними данными о количестве осадков, выпадающих над крупными зернопроизводящими территориями. Такое сопоставление, к примеру, проведенное для континентальной части США с начала текущего столетия, указывает на наличие сопряженности между изменениями среднего количества выпадающих осадков и колебаниями урожайности пшеницы.

Завершая краткое изложение вопроса о влиянии глобального термического режима на изменчивость урожаев, необходимо подчеркнуть, что полученные результаты и выводы могут быть полезны для расширения представления о характере воздействия изменений климата на продуктивность культурных растительных сообществ. Привлечение новых и более детальных данных об изменениях глобального термического режима позволит в дальнейшем ответить на ряд других важных вопросов, касающихся оценок возможных вариаций урожаев в будущем.

5.3. Оценки ожидаемых изменений вариабельности урожаев согласно климатическим условиям будущего

При построении территориального распределения оценок погодно-климатической изменчивости урожаев на перспективу использованы данные палеоклиматических реконструкций трех теплых интервалов геологического прошлого, являющихся наиболее близкими аналогами климатических условий следующего столетия [7, 114]. К таким интервалам геохронологической шкалы относятся климатические оптимумы среднего голоцена (5—6 тыс. лет т. н.), эемского (микулинского) межледникового (около 125 тыс. лет т. н.) и плейстоцена (около 4,3—3,3 млн. лет т. н.).

Установлено, что отклонения температуры воздуха северного полушария от современной в указанные периоды близки теоретическим оценкам, полученным М. И. Будыко и другими авторами исходя из ожидаемых в будущем изменений средней температуры при соответствующих уровнях повышения концентрации парниковых газов в атмосфере [23, 24]. Наличие такой аналогии, обусловленной сходством причин изменения климата в определенные эпохи прошлого и в настоящее время, позволяет рассматривать совокупность палеоклиматических материалов в качестве одного из независимых подходов для оценивания климатических условий обозримого будущего. В связи с этим анализ палеоклиматической информации в целях построения региональных сценариев климата XXI в. привлек особое внимание специалистов разных стран.

Для наших построений наибольший интерес представляют реконструкции полей отклонений температуры воздуха и атмосферных осадков над континентами, выполненные советскими авторами: А. А. Величко, И. И. Борзенковой, В. А. Зубаковым, Н. А. Ефимовой, В. А. Климановым и др. [17, 18, 28, 43]. Прежде всего это обусловлено достаточной детальностью приводимых авторами материалов о пространственном изменении характеристик климата в теплые эпохи прошлого по сравнению с современным их распределением. К тому же эти материалы содержат такие важные в агроклиматическом отношении оценки, как региональное распределение отклонений температуры воздуха в зимние и летние месяцы и годовых сумм атмосферных осадков на разных широтах северного полушария.

Тем не менее следует уточнить, что пространственная разрешимость оценок, представленных на палеоклиматических реконструкциях, в отдельных случаях затрудняет их использование для получения адекватной картины ожидаемых изменений устойчиво-

сти урожайности. Последнее замечание, однако, в полной мере относится лишь к тем территориям, где посевы имеют „точечные“ ареалы их размещения (например, районы Восточной Сибири и Дальнего Востока, ряд западноевропейских государств).

Вместе с тем, с помощью реконструкций теплых эпох прошлого (являющихся аналогами климатических условий будущего) можно получить весьма наглядное представление о масштабах и характере возможных изменений вариабельности урожаев в пределах крупных зернопроизводящих зон, расположенных в умеренном поясе Евразии и на североамериканском континенте. В основу расчетных зависимостей для оценок ожидаемых изменений вариабельности урожаев положены корреляционные связи между показателями изменчивости урожайности пшеницы разных форм (V) и некоторыми характеристиками климата, фигурирующими в палеоклиматических сценариях.

Так, рис. 5.3 иллюстрирует общий вид зависимости погодноклиматической изменчивости урожаев озимой пшеницы на ЕЧС, в США и Канаде (провинция Онтарио) от изменения средней многолетней температуры воздуха в наиболее холодном месяце — январе. На рис. 5.4 изображена корреляционная связь между показателями вариабельности урожаев озимой и яровой пшеницы и нормами годовых сумм осадков (точки, характеризующие зону интенсивного искусственного полива, исключены) [94 г].

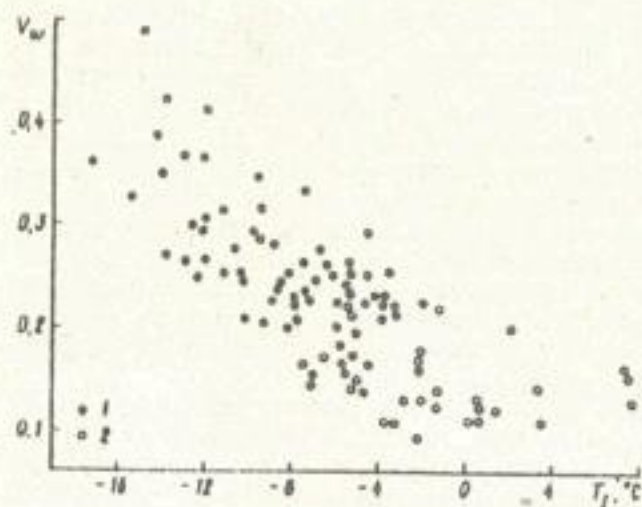


Рис. 5.3. Влияние средней температуры воздуха в январе на изменчивость (вариабельность) урожаев озимой пшеницы.

1 — регионы нашей страны, 2 — регионы США и Канады.

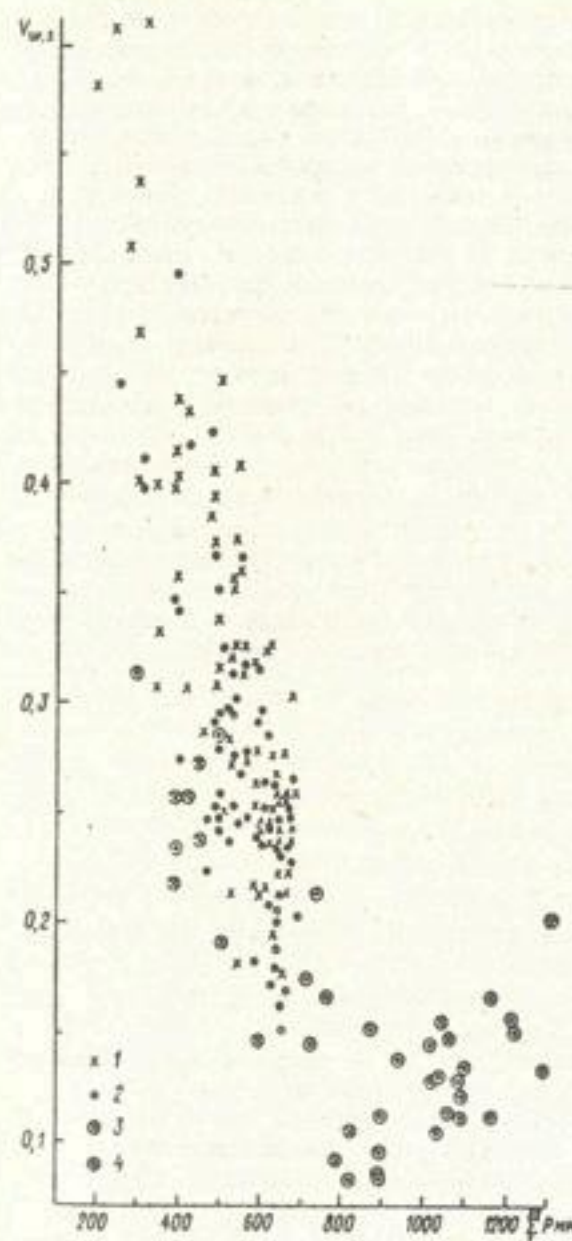


Рис. 5.4. Зависимость вариабельности урожаев пшеницы от среднегодового количества осадков.

1, 2 — яровая и озимая пшеницы (регионы нашей страны), 3, 4 — яровая и озимая пшеницы (регионы США и Канады).

В качестве регрессионных кривых, в целом описывающих зависимость изменения показателя V от факториальных признаков, к примеру, могут быть использованы нисходящая ветвь параболы или функция экспоненциального вида, отражающая выход на „плато“ в нижней части графиков. Отметим, что в случае связи, показанной на рис. 5.4, применение параболической регрессии предпочтительнее, поскольку в избыточно влажных районах наблюдается тенденция к некоторому увеличению неустойчивости урожаев вследствие учащения полегания посевов, вызываемого обильными осадками. Наряду с непрерывными функциями, определяющими форму регрессионных связей, достаточно удобно пользоваться и „кусочной“ аппроксимацией, например, описывая зависимости, относящиеся к регионам нашей страны, с помощью линейной регрессии. На такую возможность указывает общий вид расположения точек на графиках рис. 5.3 и 5.4.

Проведенные вычисления показывают, что парная линейная регрессия в случае яровой пшеницы характеризуется значением коэффициента корреляции $r = -0,78$. Применение множественной регрессии позволило получить зависимость варибельности урожаев озимой пшеницы на Европейской части нашей страны от изменения двух некоррелируемых предикторов: средней температуры января и норм выпадающих годовых осадков ($r_{T_1 \sum P} = -0,04$). Расчетное уравнение имеет вид

$$\hat{V}_w = 35,80 - 0,04 \sum_{i=1}^{XII} P - 1,23 T_1, \quad (5.1)$$

где $\hat{V}_w$ — регрессионная оценка погодно-климатической изменчивости урожаев озимой пшеницы, выраженной в % ($\hat{V}_w \cdot 100\%$); $\sum_{i=1}^{XII} P$ — норма годовых осадков, мм; T_1 — средняя (многолетняя) температура воздуха в январе, °C.

Сравнение t -статистик регрессионных коэффициентов указывает на значимость оценок, приводимых в уравнении (5.1). Мно-

* Заметим, что показатель изменчивости урожаев V можно представить не только в относительных величинах, но и выразить в процентах. В данном случае процентное выражение показателя предпочтительнее, что связано с размерностью величин, входящих в (5.1).

жественный коэффициент корреляции также значим и составляет $R = 0,83 \pm 0,03$.

Для описания зависимостей изменчивости урожаев пшеницы от агроклиматических характеристик на североамериканском континенте использована параболическая регрессия. На основе приведенных на графиках связей оценена корреляция, которая для зависимости $V_{w,z}$ от изменения $\sum_{i=1}^{XII} P$ значима и превышает $r = -0,7$.

Касаясь вопроса о построении регрессионных связей, необходимых для расчета оценок изменчивости урожаев на перспективу, остановимся еще на одном весьма важном моменте. Из палеоклиматических реконструкций теплых эпох прошлого также получены оценки возможных изменений влагосодержания деятельного слоя почвы, относящиеся к климатическому оптимуму голоцена и эемскому (микулинскому) межледниковью.

Известный интерес для наших целей представляют оценки изменения влагосодержания метрового слоя почвы в летний период, выполненные в работе [30]. Это обусловлено тем, что имеющиеся запасы продуктивной влаги под посевами в теплый период года существенно влияют на развитие культурных растений, а следовательно, определяют и их конечные урожаи. Как ранее отмечалось, особо чувствительны к изменению запасов почвенной влаги яровые культуры, проходящие в летний период главные фазы своего развития. По этой причине в качестве регрессионной кривой, связывающей изменчивость урожаев с летними влагозапасами в почве, рассмотрена зависимость изменчивости урожаев яровой пшеницы в регионах нашей страны от изменения запасов продуктивной влаги под посевами в фазу колошения, представленная в [94]. Фаза колошения выбрана потому, что именно в эту фазу происходит интенсивное формирование хозяйственного урожая и что по времени наступления она приходится примерно на середину лета.

Следует, однако, отметить, что полученные в [30] модельные оценки изменения влагосодержания почвы отнесены к естественному растительному покрову и требуют определенных уточнений применительно к сельскохозяйственным посевам. Поэтому приводимые в дальнейшем оценки ожидаемых изменений варибельности урожаев при изменении почвенных влагозапасов в большей мере будут употребимы для сопоставительного анализа с предполагаемым распределением V согласно сценарию изменения режима атмосферных осадков.

Расчет оценок изменений вариальности урожаев на перспективу ($\Delta V_{i,p}$) осуществлен на основе представленных выше зависимостей путем вычисления уровней $V_{i,p}$, отвечающих как фоновому (отнесенному к последнему столетию), так и определенным по палеорекострукциям распределениям климатических характеристик.

Оценки ожидаемых изменений вариальности урожаев к началу XXI столетия получены исходя из условий климатического оптимума голоцена, соответствующих повышению средней глобальной температуры примерно на 1°C по сравнению с ее величиной в середине XX в. Общий характер пространственного изменения вариальности урожайности пшеницы в зернопроизводящих зонах для такого масштаба глобального потепления иллюстрируют карты рис. 5.5—5.7.

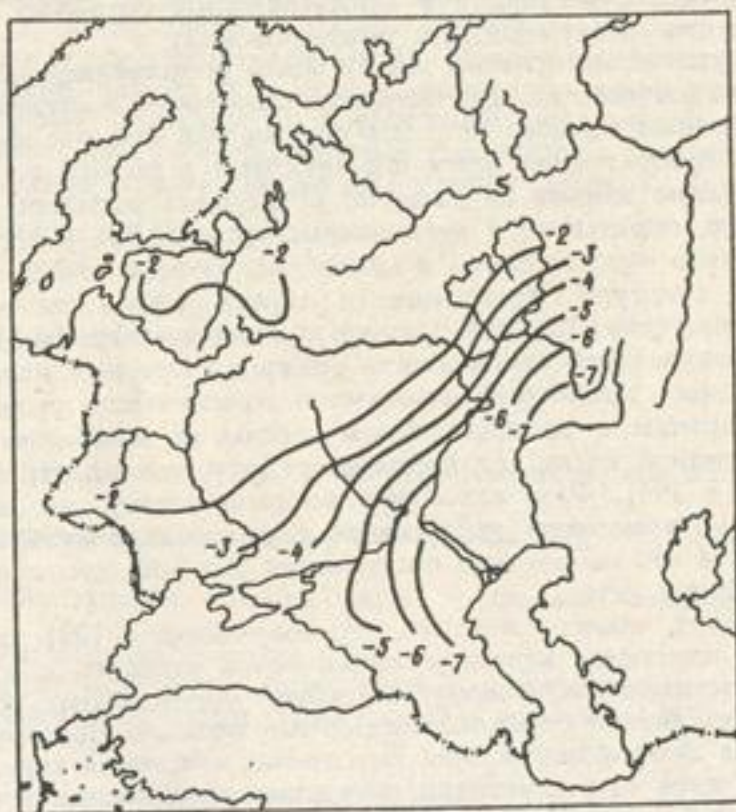


Рис. 5.5. Изменение вариальности (%) урожаев озимой пшеницы на территории ЕЧС при глобальном потеплении на 1°C .

На рис. 5.5 приведены оценки возможных изменений вариальности урожаев озимой пшеницы на Европейской части Союза к началу следующего столетия, выраженные в процентах. Как видно из распределения и знака оценок $\Delta V_w \cdot 100\%$, в целом прослеживается тенденция к возрастанию устойчивости урожаев озимых форм пшеницы, особенно в восточных районах ЕЧС. Правда, в отдельных областях Центрального экономического района РФ знак ΔV_w все же положителен, но эти изменения столь незначительны, что заключены в пределах погрешности определения показателя изменчивости урожаев.

В то же время значимые изменения V_w характерны для областей Поволжского экономического района и Предуралья — $\Delta V_w > -3\%$, где по палеоклиматическому аналогу будет наблюдаться наиболее заметное повышение зимних температур. Выраженные изменения V_w в сторону роста устойчивости хозяйственных урожаев также могут иметь место в восточных областях Украины и в Северо-Кавказском экономическом районе РФ, что связано с прогнозируемым увеличением количества выпадающих осадков на юго-востоке ЕЧС. Некоторое увеличение устойчивости урожайности озимой пшеницы может происходить и на Северо-Западе РФ — $\Delta V_w > -2\%$, в районах с достаточно холодной зимой, что, по-видимому, будет обусловлено ростом температуры в зимний период.

Таким образом, анализируя предполагаемую картину распределения оценок ΔV_w , заметим, что в центральной и восточной частях ЕЧС возрастание устойчивости урожаев будет определяться главным образом более благоприятными условиями зимовки растений пшеницы, что должно существенно снизить вероятность повреждения озимых всходов, особенно часто происходящего в степных районах Среднего Поволжья и Предуралья. Эффект возможного увеличения количества атмосферных осадков в течение года южнее 52° с. ш. вызовет рост стабильности урожаев сильных пшениц, посевы которых сосредоточены в Предкавказье и на Украине. К сожалению, объем палеоклиматических данных не позволяет произвести подобный анализ изменений устойчивости

Например, вычислять ошибку показателя V в [107] предлагается в виде

$$\sigma_V = \frac{V\sqrt{1+V^2}}{\sqrt{2(n-1)}}, \quad (5.2)$$

где σ_V — среднеквадратическая ошибка расчета V , n — объем выборки.

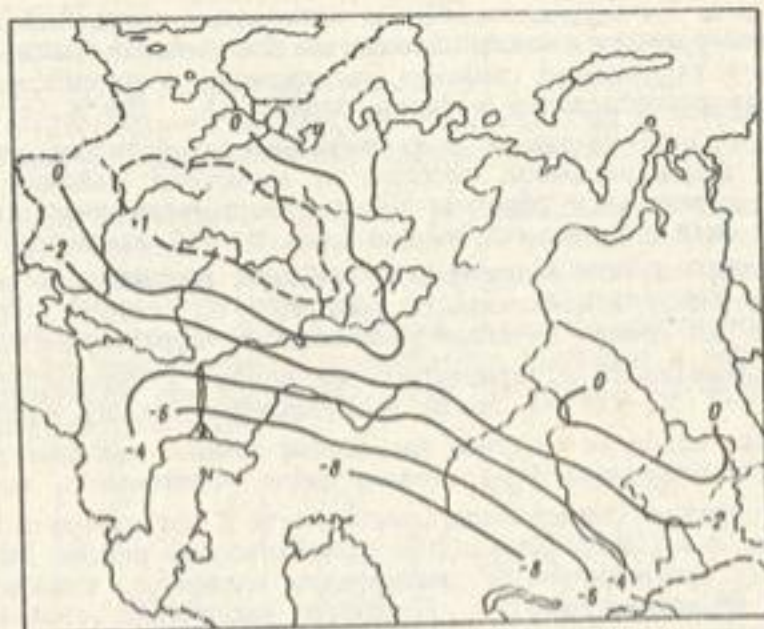


Рис. 5.6. Изменение вариальности (%) урожая яровой пшеницы в основной производящей зоне нашей страны при глобальном потеплении на 1 °С

урожаев озимой пшеницы в западной части ЕЧС. Поскольку для такого анализа понадобились бы весьма детальные сведения об изменении внутригодового режима температуры и осадков, если учесть, что к причинам периодического вымокания и выпревания посевов. Из сравнения рис. 5.5 и приводимого пространственного распределения погодно-климатической изменчивости урожая озимой пшеницы (см. рис. 4.1 главы 4) можно оценить примерную картину изменчивости урожая озимых форм культуры на ЕЧС к началу будущего столетия.

Пространственное распределение оценок изменения вариальности урожая яровой пшеницы при ожидаемых изменениях режима осадков на территории нашей страны к началу следующего столетия показано на рис. 5.6. Анализ хода изолиний $\Delta V_s \cdot 100\%$ в пределах основной зернопроизводящей зоны позволил выделить регионы, заметно отличающиеся по тенденции изменений устойчивости урожайности. К первой группе территорий, где наблюдается некоторое увеличение вариальности урожая яровой пшеницы, относятся районы Центральной части ЕЧС, оконтурен-

ные изолинией $\Delta V_s = 0$, внутри которой $\Delta V_s > 0$ (в областях Центрального экономического района РФ и на Верхней Волге $\Delta V_s > +1\%$). Положительные отклонения ΔV_s также отмечены в Западной Сибири — в северной части Омской, Новосибирской областей и на юге Томской области. В перечисленных регионах тенденция возрастания вариальности урожаев обусловлена уменьшением количества выпадающих осадков, особенно в центре Русской равнины.

На остальной части зернопроизводящей зоны имеет место тенденция роста устойчивости хозяйственной урожайности яровой пшеницы, что связано, согласно палеоклиматическому аналогу, с общим увеличением количества выпадающих осадков. Наибольшие по масштабу и соответственно значимые по (5.2) изменения вариальности урожаев в сторону ее снижения характерны для степных и сухостепных регионов Предкавказья, Нижнего Поволжья и Казахстана, где значения V_s уменьшаются в среднем на 4–6 %. В степной части Украины, Среднего Поволжья и Западной Сибири изменения V_s составят от –2 до –4 %.

Несколько иную, но обладающую сходными чертами картину изменений вариальности урожая яровой пшеницы дают оценки изменения влагосодержания деятельного слоя почвы. Согласно этим оценкам, относящимся к летнему сезону, по характеру изменений устойчивости урожая яровых форм культуры зернопроизводящую зону можно условно разделить на две части. К северу от 50° с. ш. располагается обширная зона повышенной вариальности урожайности. Внутри этой зоны наиболее значимые изменения V_s прослеживаются для степного Предуралья и Среднего Поволжья (главным образом Правобережная лесостепная часть). Здесь увеличение V_s составит от 3 до 6 %. В более северных районах, включая Северный экономический район РФ, изменения V_s в сторону увеличения могут достичь 1–2 %.

Южнее 50° с. ш., напротив, располагаются регионы, где будет наблюдаться рост стабильности урожая яровой пшеницы. Среди последних выделяется регион Восточного Казахстана, в пределах которого ΔV_s может составить более –2 % (в Восточно-Казахстанской области более –3 %).

Сопоставляя оценки, приведенные на рис. 5.6, с пространственным распределением погодно-климатической изменчивости урожая яровой пшеницы (см. рис. 4.2 главы 4), можно воссоздать примерное распределение показателя V_s к началу следующего столетия. Такое распределение свидетельствует о том, что в большинстве засушливых континентальных районов возделыва-

ния яровой пшеницы будет наблюдаться уменьшение величины V_s до значений, соответствующих показателям в более увлажненных территориях. Учитывая тот факт, что распределение оценок V_s в целом отвечает природно-географической зональности, можно полагать, что в ближайшем будущем условия для выращивания пшеницы в сухостепной зоне будут приближаться к условиям ее возделывания в степи. В степных районах Казахстана и Алтайского края характер изменчивости урожая яровой пшеницы будет напоминать таковой в лесостепной зоне. В то же время в некоторых лесостепных районах, например Предуралья, Западной Сибири, а также частично Украины и ЦЧР, условия произрастания культуры могут стать менее благоприятными, что вызовет заметные межгодовые колебания сборов, примерно такие же, как и в степной зоне. Отметим, что в определенной мере, указанные тенденции начинают проявляться в характере колебаний урожайности на протяжении последних лет.

Переходя к рассмотрению оценок вариабельности урожая пшеницы на североамериканском континенте (для аналогичного уровня потепления), необходимо внести ряд следующих пояснений.

Во-первых, в отличие от нашей страны, расчет оценок изменения устойчивости урожая озимой пшеницы в США и Канаде на основе двухфакторной регрессионной модели вида (5.1) оказывается менее эффективен. Это вызвано тем, что посевы озимых форм пшеницы на территории последних сосредоточены в районах с достаточно мягкой зимой и редко подвержены воздействию низких (способных привести к вымерзанию растений) температур. К тому же, согласно палеоклиматической реконструкции голоцена, масштаб изменений зимней температуры в умеренных широтах Северной Америки очень невелик, что приводит к незначительному вкладу термического компонента при получении оценок V .

Во-вторых, представленный ниже сценарий вариабельности урожая, базирующийся на оценках региональных изменений режима увлажнения, одновременно включает построения как для озимых, так и для яровых форм пшеницы. То есть, фактически, дается единая картина предполагаемых изменений устойчивости урожая культуры в целом (ΔV). Такой способ представления оценок ΔV_w и ΔV_s вполне допустим, если учесть резкую дифференциацию территорий по преобладанию посевов тех или иных форм пшеницы (см. рис. 4.3, 4.4 главы 4). С другой стороны, он удобен и тем, что позволяет наглядно проследить чувствительность разных форм пшеницы к изменениям условий атмосферного

увлажнения в регионах зернопроизводства США и Канады как единого целого.

Пространственное распределение оценок ΔV для пшеницы в пределах североамериканского зернового пояса иллюстрирует рис. 5.7. Как свидетельствует ход изолиний, проведенных на карте, выделяется обширная зона положительных значений ΔV . Эта зона включает Равнины и Приозерный район, где расположены пшеничный и кукурузный пояса. Для кукурузного пояса оценки ΔV в среднем составляют от +1 до +3 %. Для пшеничного пояса они заметно различаются: в южной его части ΔV близки к нулю и даже отрицательны (Оклахома); в северной части, наоборот, имеют положительный знак. Наибольшие изменения V в сторону повышения, значимые по (5.2), отмечаются для штатов Великих Равнин: Северной и Южной Дакоты, восточной части Монтаны и провинции Саскачеван — $\Delta V > +3$ %. На территории Миннесоты и Манитобы в среднем $\Delta V > +2$ %.

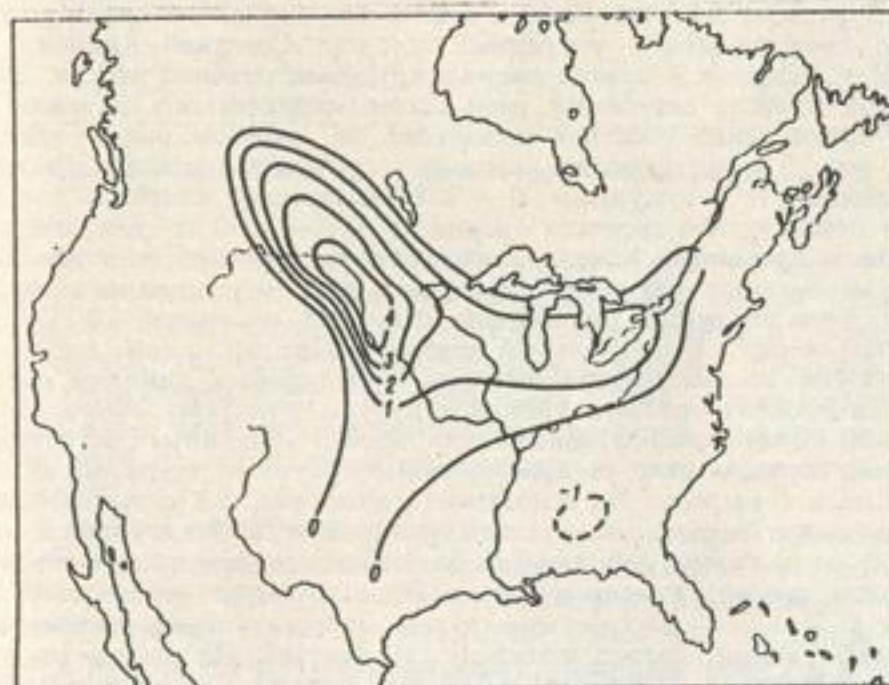


Рис. 5.7. Изменение вариабельности (%) урожая пшеницы в зерновом поясе Северной Америки при глобальном потеплении на 1 °C.

Тенденция к возрастанию неустойчивости урожаев в основных регионах возделывания пшеницы в США и Канаде к началу следующего столетия будет вызвана ожидаемым уменьшением среднегодового количества осадков в широтной зоне между 35—60° с. ш. (по модельным оценкам также отмечается и снижение влаго-содержания почвы летом в этой широтной зоне). При этом характерно, что наиболее выраженные изменения variability урожайности будут иметь место в районах производства яровой пшеницы и заметно меньшие в зоне выращивания озимых форм культуры.

Определенное суждение о предполагаемой картине variability урожайности можно получить, если обратиться к пространственному распределению показателя изменчивости урожаев пшеницы (см. рис. 4.5). Принимая во внимание зональное распределение оценок V , можно отметить, что при соответствующих изменениях режима увлажнения в характере колебаний урожайности в северной части пшеничного пояса (степная зона) будут проявляться черты, свойственные условиям произрастания пшеницы в более засушливых районах Великих Равнин.

В разделе 5.1 упоминалось о том, что аномально сухие условия, сложившиеся в умеренных широтах Северной Америки в 1988 г., привели к возникновению крупномасштабной засухи. Эта засуха нанесла ощутимый урон североамериканскому полеводству, существенно обострив положение на мировом рынке зерна. На рис. 5.8 представлены изолинии процента недобора урожая пшеницы (1) и кукурузы (2) в 1988 г. Процент недобора исчислен относительно среднего уровня за 1986—1990 гг. для штатов США и провинций Канады, составляющих зерновой пояс. Видно, что наибольшие потери наблюдаются в зоне распространения яровых форм пшеницы (оконтурена сплошной изолинией 20 %), в то время как незначительный недобор имеет место там, где преобладают посевы озимых пшениц. Пунктирными линиями обозначен процент недобора урожая кукурузы, культуры, высеваемой весной. Этот процент, как и для яровой пшеницы, достаточно велик, правда зона распространения кукурузы территориально смещена к востоку. На основании данных рис. 5.8 нетрудно сделать вывод о том, что от воздействия засухи преимущественно пострадали яровые зерновые хлеба, что также доказывают потери урожая ярового ячменя и овса в Приозерном районе и на Равнинах Мидуэста. В сортовом составе пшениц сильно пострадали посевы твердой яровой пшеницы (*T. Durum*). По нашим расчетам, в Монтане, Миннесоте и Дакоте урожай *T. Durum* снизился более чем вдвое, отмечается и самое значительное сокращение площадей к сроку уборки по сравнению с другими сортами и культурами.

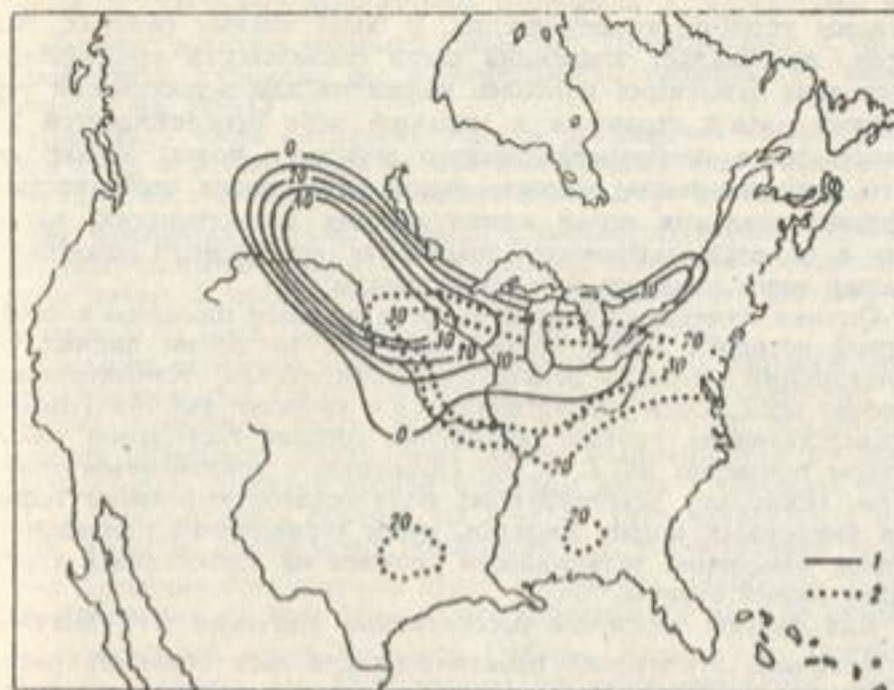


Рис. 5.8. Потери урожая (%) в зерновом поясе Северной Америки в 1988 г.
1 — пшеница, 2 — кукуруза.

Если сопоставить рис. 5.7 и 5.8 между собой, то можно обнаружить отчетливое совпадение хода изолиний потерь урожая пшеницы с пространственным распределением оценок ΔV . Следует полагать, что такое сходство картин отнюдь не случайно и, по всей видимости, снижение сбора зерна в 1988 г. есть следствие проявления воздействия антропогенных изменений климата на условия произрастания зерновых культур в умеренных широтах полушария.

На первый взгляд может показаться, что сценарии изменений variability урожаев пшеницы к началу XXI столетия на территории нашей страны и в Северной Америке практически противоположны по характеру тенденций изменения величины V . Однако это не совсем так. Например, сравнивая рис. 5.6 и 5.7, можно обнаружить и общую закономерность в распределениях оценок V . Она заключается в том, что тенденция возрастания неустойчивости урожаев проявляется в пределах обеих зернопроизводящих зон в более северных районах и распространяется в

регионы устойчивого земледелия. В более южных районах, наоборот, преобладает тенденция роста стабильности урожайности. Последняя тенденция наиболее выражена для зерносеющей территории нашей страны и в меньшей мере прослеживается для южной части североамериканского зернового пояса. Можно понять, что указанная закономерность обусловлена особенностями перераспределения полей климатических характеристик, входящих в палеоклиматическую реконструкцию среднего голоцена и прежде всего поля атмосферных осадков.

Оценки изменений variability урожая пшеницы к концу первой четверти XXI столетия получены на основе данных реконструкций климата земского межледникового. Климатические условия этой эпохи рассматриваются в качестве аналога условий, соответствующих уровню повышения средней глобальной температуры примерно на 2 °C, по сравнению с современным значением. Поскольку реконструкция поля осадков выполнена только для умеренных широт Евразии, ниже ограничимся приведением оценок изменений устойчивости урожая на зерносеющей территории нашей страны.

Для озимой пшеницы рассчитанные значения ΔV_w значимы по величине отклонений практически для всех областей, расположенных на ЕЧС. Согласно их территориальному распределению, на северо-западе и в центре России изменчивость хозяйственных урожаев может снизиться приблизительно на 10 %, в Беларуси — на 7—9 %. В районах, где посевы подвержены вымерзанию, такие изменения могут достичь 11—13 %, в лесостепном Заволжье до 15 %. В более южной части ЕЧС — на Украине, в Предкавказье и Нижнем Поволжье ΔV_w составит в среднем около -14 %, в сухостепной зоне Ставрополя и в Калмыкии — до -16—18 %. Тенденция дальнейшего возрастания устойчивости урожайности озимых форм пшеницы обусловлена изменением термического режима и условий увлажнения в сторону последующего повышения зимних температур и увеличения количества выпадающих осадков.

Картина изменений variability урожая яровой пшеницы во многом сходна. В целом также прослеживается общая тенденция роста устойчивости урожайности яровых форм пшеницы, однако для центральных районов ЕЧС оценки ΔV_s незначимы, хотя и составляют около -2 %. Для основных районов производства яровой пшеницы изменения устойчивости урожая более значительны. Так, в лесостепной зоне ЦЧР, Среднего Поволжья, Предуралья и Западной Сибири рост стабильности урожая может составить от 5 до 8 %, в степной зоне (включая Казахстан) — от

7 до 10 %. Наиболее выраженные изменения V_s характерны для сухостепных регионов Нижнего Поволжья, Предкавказья, а также южной части Украины, где variability урожайности может снизиться на 13—15 %.

Поскольку часть выпавших осадков расходуется на поверхностный сток и испарение и не вся атмосферная влага становится доступной растениям, сопоставим оценки ΔV_s , вычисленные на основе изменения режима осадков, с соответствующими значениями, полученными исходя из ожидаемых изменений влагосодержания почвы. В последнем случае распределение оценок ΔV_s носит несколько иной, но все же сходный характер.

Согласно сценарию изменения влагозапасов, на большей части зернопроизводящей территории будет иметь место увеличение количества почвенной влаги, особенно в зоне сухого земледелия. Дефицит почвенного увлажнения может незначительно повысить variability урожая яровой пшеницы лишь в северной части ЕЧС и Предуралья в среднем на 1—2 % (что находится в пределах точности определения показателя V_s). На остальной территории устойчивость урожая будет возрастать. Наиболее значимые изменения V_s при этом будут наблюдаться на юге степной и в сухостепной зонах Западной Сибири, Казахстана, Предкавказья и Украины. По проведенным расчетам, снижение variability урожайности яровой пшеницы в Алтайском крае может составить до 4 %, на востоке Казахстана — до 5 % (в Карагандинской области до 14 %). В Нижнем Поволжье эта величина может достичь 4 %, в Ставропольском крае 10 %, в Астраханской области и Калмыкии 13—15 %. В южной части Украины V_s уменьшится в среднем на 6—8 %.

Если предполагаемую картину оценок V_s сравнить с пространственным изменением этого показателя на рис. 4.2 (см. главу 4), то можно проследить, в какой степени будет меняться устойчивость урожая яровых форм пшеницы в разных природно-климатических зонах.

Для более отдаленной перспективы (примерно середины XXI столетия) предполагаемые изменения variability урожая пшеницы оценены из реконструкции климатических условий оптимума плиоцена. В этот период прошлого превышение средней приземной температуры воздуха достигало 3—4 °C, что соответствует наибольшему масштабу потепления для выбранных интервалов геологического времени. Между тем, диапазоны отклонений климатических параметров в оптимуме плиоцена по сравнению с реконструкцией земского межледникового менее выражены в умеренных широтах (в отличие от высоких и субтропических ши-

рот), что находит отражение в величине оценок ΔV , которые менее значительны, чем в случае земского межледникового.

Согласно расчетам, изменения в сторону роста устойчивости урожаев озимой пшеницы на территории ЕЧС могут составить от 7—9 % в западных и центральных областях до 10—12 % в восточных и юго-восточных районах. Подобная тенденция будет прослеживаться и для яровой пшеницы практически на всей производящей территории. Например, в центре Европейской России показатель варибельности V_s снизится в среднем на 4—5 %, в степной зоне Поволжья и Предуралья — на 6—8 %, в сухостепной зоне Казахстана и в низовьях р. Волги — на 9—11 %.

В целом сходна картина и для внутриконтинентальной зоны Северной Америки. Здесь также присутствует тенденция возрастания стабильности урожаев по годам, вызванная улучшением условий атмосферного увлажнения. Так, в центральной части пшеничного пояса изменчивость урожайности озимой пшеницы может снизиться в среднем на 2—5 %, в засушливых штатах — до 9—10 %. Что касается яровых форм культуры, то снижение показателя V_s может составить: в Приозерном районе 2 %, в северной части Равнин США 5—7 %, в прерии Канады около 6 %.

Вместе с тем не исключена вероятность повышения варибельности урожаев в приатлантических районах США и Канады ($\Delta V_{w,s} > 0$) в результате возможного учащения полегания посевов в условиях влажного климата при дополнительном притоке атмосферной влаги.

Естественно, что все приведенные выше расчеты оценок изменчивости урожаев на перспективу находятся в непосредственной зависимости от принятых нами сценариев будущей климатической обстановки. Нет сомнения, что разработка новых и более детальных схем климатических условий будущего позволит внести ряд существенных уточнений в оценки ожидаемых изменений варибельности урожайности зерновых культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги изложенному материалу, перейдем к краткому обсуждению результатов и выводов, полученных на основе проведенного исследования. Они могут быть сведены к следующим наиболее важным положениям.

Анализ исходных данных о производстве хлебных культур показывает, что, наряду с тенденциями чисто экономического характера, в изменениях посевных площадей и валовых сборов проявляется воздействие факторов внешней среды, которое приводит к межгодовым колебаниям показателей процесса зернопроизводства. Такое воздействие по отношению к площадям посевов прослеживается из сравнения их динамики по годам и на основе анализа внутригодовых колебаний. Обычно резкие сокращения засеянной площади к сроку уборки являются надежным индикатором неурожайных лет или периодов в континентальных зерновых регионах и наблюдаются в годы развития засушливых явлений над их территориями. Аналогичным образом, значительные сокращения объемов собранного зерна происходят также на фоне аномальных погодно-климатических условий, несмотря на достигнутый прогресс в технологии возделывания полевых культур.

Отсюда можно заключить, что влияние внешних условий и факторов, прежде всего таких, как погода и климат, продолжает ощутимо сказываться в отраслях земледелия, и эффект такого воздействия во времени пока не ослабевает.

Помимо рассмотрения изменения посевных (уборочных) площадей и валовых сборов, основное внимание сосредоточено на результирующем показателе — хозяйственной урожайности. Ввиду того что временные ряды фактических урожаев нестационарны и содержат компонент, обусловленный совершенствованием культуры земледелия, использованы приемы выделения агротехнических тенденций в динамике урожайности. При выявлении агротехнических трендов отдано предпочтение методическому подходу Г. В. Менжулина и С. П. Савватеева, который заключается в учете непосредственного влияния показателей интенсификации зернопроизводства на прирост хозяйственной урожайности. Этот подход реализован автором применительно к регионам товарного производства зерна в северном полушарии, а в качестве основного агротехнического показателя выбраны дозы ежегодно вносимых минеральных удобрений. Обращено внимание, что эффективность их действия существенно зависит от климатических особенностей регионов и, кроме того, определяется погодными условиями конкретных лет.

Включение динамики доз вносимых удобрений в расчетные зависимости обеспечило уточнение агротехнических тенденций в изменениях урожайности. При этом сухие и избыточно влажные годы прослежены более отчетливо, поскольку в такие годы эффективность действия минеральных туков заметно снижается. Отмечена также возможность применения данного подхода для получения оценок перспективных уровней урожайности. Например, такая возможность может быть достигнута на основе сценариев потребления минеральных удобрений (и отдельных их видов) в разных странах мира к концу столетия.

Одновременно, детальный учет экономических тенденций в зернопроизводстве позволил уточнить характер влияния погодно-климатических условий и их аномалий на межгодовую изменчивость урожая. В результате этого выявлены закономерности колебаний урожая в пределах крупных зернопроизводящих зон, установлено присутствие синхронности (синфазности) в изменениях урожайности хлебных злаков. С помощью корреляционного анализа определены районы синхронных колебаний урожайности пшеницы на территории США, Канады, Западноевропейского региона. В частности, к таким районам отнесены южные штаты пшеничного пояса, степные провинции Канады, кукурузный пояс, восток США, страны юго-восточной Европы и др. Упомянуто о наличии подобных районов на территории нашей страны, а также о существовании достаточно обширных областей с выраженным асинхронным ходом аномалий урожайности.

В форме свода неурожайных лет представлена пространственно-временная структура недородов пшеницы в умеренных широтах полушария за период, близкий к столетию. На основе метеорологической информации отражены причины и характер повторяемости недородов разных масштабов в определенных климатических регионах и природно-ландшафтных комплексах. Показано, что кроме случаев одиночного появления, неурожай группируются на временных интервалах, как правило, соответствующих периодам учащения засух. Подчеркнуто, что 30-е годы текущего столетия оказались наименее благоприятными для возделывания зерновых. Последнее обусловлено характером естественных колебаний климата в этот период. Спектральный анализ временных реализаций аномалий урожайности также позволил выявить некоторые особенности статистической структуры колебаний урожая на продолжительных отрезках времени.

Степень варьирования урожая оценена не только во времени, но и пространстве. Проанализированы территориальные закономерности погодно-климатической вариации урожайности в регионах зернопроизводства северного полушария. Обнаружены общие черты и различия в устойчивости урожая разных зерновых куль-

тур — пшеницы, кукурузы, ячменя, овса, ржи. Сделан вывод о том, что в распределении оценок изменчивости урожая в целом отражено зональное изменение совокупности агроклиматических характеристик (количество выпадающих атмосферных осадков, запасов продуктивной влаги в почве и др.). При этом изолинии показателя изменчивости урожая, например, яровой пшеницы, весьма тесно согласуются с границами природно-ландшафтных зон. Изолинии изменчивости урожая озимых форм культур отражают воздействие и более аazonального фактора — климатического показателя условий перезимовки.

Для оценок воздействия внешних факторов на вариацию урожая хлебных культур установлены виды регрессионных зависимостей, связывающих пространственную изменчивость урожайности с изменением средних многолетних и вероятностных характеристик агроклиматического режима. Учитывая региональные особенности климата, в качестве последних для яровой пшеницы выбраны характеристики поля осадков, суховейности, запасов продуктивной влаги в почве во время наступления главных фаз. Для озимой пшеницы также привлечены данные о термических условиях холодного периода. В результате статистической обработки материалов построены регрессионные модели вариации урожайности, в том числе и многофакторные, включающие совокупность агроклиматических предикторов. Наряду с анализом влияния отдельных факторов (или их совокупности), рассмотрены регрессионные связи вариации урожая с изменением комплексных агроклиматических показателей — радиационного индекса сухости М. И. Будыко, гидротермического коэффициента, других показателей. Построение регрессионных моделей обеспечило выбор наиболее значимых климатических предикторов, которые затем использовались при расчетах оценок ожидаемых в будущем изменений устойчивости урожая.

Поскольку ресурсы климата и почв часто рассматривают в их неразрывной связи, дана сравнительная оценка почвенно-климатических ресурсов и показателей урожайности пшеницы в зернопроизводящих зонах нашей страны и североамериканского континента. Отмечено, что условия для произрастания пшеницы на аналогичных типах почв в США и Канаде благоприятнее вследствие более оптимального распределения ресурсов тепло- и влагообеспеченности (выше количество осадков, выпадающих в период интенсивной вегетации, суммы активных температур и величина суммарного испарения).

При анализе колебаний урожайности уделено внимание и влиянию характеристик глобального климата на устойчивость урожая. Получена статистически значимая корреляция между из-

менениями показателей глобального термического режима в теплый период и аномалиями урожайности яровых зерновых культур. Показано, что возникновение недородов достаточно часто сопровождается флуктуациями температуры в сторону ее повышения или происходит с небольшим запаздыванием (обычно на один год) после появления флуктуаций температуры. Сравнение векового хода меридионального градиента температуры в весенний сезон свидетельствует о том, что пониженные урожаи наблюдаются в годы его уменьшения, а высокие урожаи, напротив, имеют место в периоды его возрастания. Обращено внимание, что начиная с 70-х годов вновь прослеживается тенденция к учащению недородов в умеренных широтах полушария. Можно предположить, что тенденция такого рода обусловлена нарастающими антропогенными изменениями климата.

В этой связи представлены оценки возможных изменений вариабельности урожаев на перспективу исходя из ожидаемых изменений температурно-влажностного режима, согласно условиям палеоклиматических аналогов. Отмечено, что в недалеком будущем климатические изменения по-разному скажутся на условиях произрастания форм и сортов хлебных злаков. Тенденция нарастающего потепления, по-видимому, обеспечит определенные возможности для расширения зоны выращивания озимых форм культур в результате возникновения более благоприятных условий для их перезимовки. Вместе с тем предполагаемое изменение условий влагообеспеченности может неблагоприятно отразиться на производстве ценных сортов пшеницы и других зерновых культур в некоторых континентальных районах сухого земледелия.

При дальнейшем развитии потепления, сопровождаемого заметным изменением ресурсов тепла и влаги может сложиться обстановка, способствующая продвижению более продуктивных (средне- и позднеспелых) сортов в северные районы и более влаголюбивых экотипов культур в ныне полупустынные территории. Возможно, что будущие агроклиматические условия также позволят интродуцировать некоторые из видов хлебных растений в нетрадиционные районы их возделывания или существенно расширить ареал распространения ценных гибридов зерновых злаков.

Использование полученных результатов и выводов представляется перспективным при решении ряда задач, связанных с комплексным оцениванием влияния климата на продуктивность культурных растительных сообществ. Содержащаяся в книге информация может быть полезна специалистам смежных дисциплин, занимающихся вопросами планирования и размещения сельскохозяйственного производства в целях получения гарантированных сборов продукции земледелия.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Фактическая урожайность пшеницы в некоторых штатах США
за период 1891—1990 гг.

Год	Урожайность пшеницы Y_p т/га					
	Пенсиль- вания	Джорд- жия	Иллинойс	Канзас	Колорадо	Северная Дакота
1891	1,04	0,50	1,21	1,04	1,35	1,19
1892	0,98	0,46	1,08	1,17	1,28	0,82
1893	0,94	0,48	0,77	0,56	0,88	0,64
1894	1,01	0,46	1,22	0,70	1,20	0,79
1895	1,11	0,42	0,74	0,52	1,57	1,41
1896	0,94	0,54	0,98	0,71	1,17	0,79
1897	1,32	0,63	0,53	1,04	1,61	0,72
1898	1,17	0,67	0,74	0,95	1,76	0,96
1899	0,91	0,46	0,67	0,66	1,59	0,86
1900	0,90	0,61	0,87	1,19	1,51	0,33
1901	1,15	0,55	1,18	1,24	1,62	0,88
1902	1,06	0,40	1,20	0,70	1,21	1,06
1903	1,04	0,42	0,56	0,94	1,78	0,85
1904	0,94	0,59	0,92	0,83	1,53	0,79
1905	1,15	0,46	1,07	0,93	1,68	0,94
1906	1,19	0,67	1,31	1,01	2,18	0,87
1907	1,25	0,60	1,21	0,74	1,94	0,67
1908	1,24	0,62	0,87	0,84	1,41	0,78
1909	1,14	0,67	1,17	0,96	1,98	0,92
1910	1,19	0,70	1,01	0,94	1,49	0,34
1911	0,90	0,80	1,07	0,72	1,27	0,54
1912	1,21	0,62	0,56	1,04	1,62	1,21
1913	1,14	0,82	1,25	0,87	1,41	0,70
1914	1,21	0,81	1,24	1,37	1,60	0,75
1915	1,24	0,74	1,27	0,84	1,62	1,22
1916	1,27	0,76	0,74	0,80	1,33	0,37
1917	1,17	0,57	1,25	0,82	1,51	0,54
1918	1,14	0,68	1,48	0,94	0,82	0,91
1919	1,17	0,70	1,15	0,92	0,92	0,46
1920	1,11	0,67	1,02	1,03	1,21	0,60
1921	1,17	0,70	1,08	0,82	0,90	0,56
1922	1,24	0,54	1,16	0,84	0,90	0,94
1923	1,27	0,62	1,21	0,68	0,87	0,50
1924	1,11	0,64	1,08	1,09	0,96	1,05
1925	1,34	0,70	1,08	0,58	0,85	0,78
1926	1,34	1,01	1,21	0,99	0,85	0,54
1927	1,24	0,62	0,93	0,75	0,95	0,85
1928	1,04	0,74	0,98	1,14	0,93	0,94
1929	1,21	0,67	1,00	0,80	0,86	0,64
1930	1,51	0,70	1,23	0,90	0,96	0,72
1931	1,47	0,87	1,56	1,27	0,80	0,36
1932	1,01	0,60	1,04	0,78	0,71	0,70

Продолжение приложения 1

Год	Урожайность пшеницы Y_p т/га					
	Пенсиль- вания	Джорд- жия	Иллинойс	Канзас	Колорадо	Северная Дакота
1933	1,21	0,54	1,10	0,61	0,73	0,48
1934	1,10	0,57	1,18	0,66	0,59	0,41
1935	1,41	0,54	0,97	0,62	0,79	0,45
1936	1,27	0,54	1,17	0,77	0,84	0,35
1937	1,47	0,57	1,17	0,80	0,89	0,54
1938	1,41	0,67	1,24	0,70	0,97	0,60
1939	1,37	0,71	1,40	0,80	0,76	0,70
1940	1,34	0,74	1,51	0,97	0,80	0,78
1941	1,31	0,77	1,34	0,98	1,23	1,19
1942	1,27	0,70	0,88	1,31	1,47	1,37
1943	1,14	0,74	1,11	0,95	1,50	1,26
1944	1,47	0,87	1,31	1,14	1,04	1,09
1945	1,44	0,90	1,24	1,04	1,60	1,05
1946	1,51	0,87	1,07	1,09	1,33	0,92
1947	1,61	0,94	1,44	1,29	1,58	0,96
1948	1,27	0,90	1,61	1,17	1,41	0,96
1949	1,54	0,80	1,64	0,77	1,15	0,71
1950	1,47	0,84	1,34	0,97	1,13	0,93
1951	1,51	1,24	1,27	0,87	0,94	0,93
1952	1,50	1,27	1,54	1,41	1,18	0,68
1953	1,61	1,24	1,81	0,84	1,04	0,66
1954	1,88	1,24	1,94	1,17	0,68	0,60
1955	1,74	1,07	2,21	1,01	0,91	1,02
1956	1,81	1,41	2,48	1,04	0,75	1,15
1957	1,74	1,11	1,41	1,27	1,64	1,26
1958	2,01	1,54	2,11	1,88	1,70	1,55
1959	1,78	1,37	1,71	1,34	1,41	1,01
1960	1,98	1,61	1,94	1,91	1,81	1,33
1961	2,01	1,81	2,41	1,78	1,54	0,80
1962	1,88	1,68	2,18	1,57	1,28	1,92
1963	2,04	1,88	2,68	1,44	0,88	1,49
1964	2,08	1,88	2,41	1,51	1,04	1,62
1965	2,34	1,94	2,38	1,57	1,05	1,74
1966	2,41	2,01	2,75	1,31	1,21	1,57
1967	2,41	1,74	2,61	1,34	1,31	1,51
1968	2,14	1,88	2,41	1,74	1,34	1,80
1969	2,38	2,28	2,48	2,08	1,41	2,01
1970	2,21	2,48	2,48	2,21	1,91	1,58
1971	2,41	2,61	3,08	2,31	1,88	2,13
1972	2,14	1,34	3,02	2,24	1,61	1,94
1973	1,88	1,81	2,01	2,48	1,64	1,84
1974	2,41	1,54	2,01	1,84	1,71	1,37
1975	2,21	1,81	2,61	1,94	1,54	1,74
1976	2,01	1,74	2,60	2,01	1,47	1,68
1977	2,21	1,88	2,88	1,94	1,47	1,68
1978	2,21	2,14	2,55	2,01	1,54	2,01
1979	2,08	2,34	2,88	2,55	1,78	1,76
1980	2,48	2,21	3,22	2,34	2,17	1,25

Продолжение приложения 1

Год	Урожайность пшеницы Y_p т/га					
	Пенсиль- вания	Джорд- жия	Иллинойс	Канзас	Колорадо	Северная Дакота
1981	2,41	2,88	3,35	1,68	1,89	1,90
1982	2,41	2,21	3,02	2,34	1,92	2,11
1983	2,55	2,28	3,08	2,78	2,67	1,80
1984	2,55	2,34	2,95	2,61	2,28	1,92
1985	3,22	2,08	3,28	2,55	2,65	2,44
1986	2,95	1,88	2,95	2,21	2,18	2,07
1987	2,88	2,08	3,95	2,48	2,55	1,98
1988	3,55	2,88	3,62	2,28	2,26	0,96
1989	2,48	2,14	3,95	1,61	1,84	1,57
1990	3,35	2,35	3,22	2,68	2,25	2,36

Отклонения урожайности пшеницы от уровня агротехнических трендов
в европейских странах-членах СЭВ за период 1950—1983 гг.

Год	Отклонения урожайности ΔY_r , т/га					
	Польша	ГДР	Чехословакия	Венгрия	Румыния	Болгария
1950	0,023	-0,239	0,106	0,081	-0,274	-0,114
1951	-0,058	0,505	0,135	0,230	0,176	0,352
1952	0,008	0,225	0,203	-0,220	-0,004	0,078
1953	-0,092	-0,084	0,194	0,200	0,344	0,260
1954	-0,122	-0,370	-0,381	-0,301	-0,226	-0,214
1955	-0,007	+0,142	0,021	0,099	-0,076	-0,007
1956	-0,082	-0,091	0,080	-0,151	-0,278	-0,199
1957	0,026	+0,022	-0,060	0,058	0,110	0,143
1958	0,037	+0,024	-0,322	-0,304	-0,181	0,066
1959	0,129	+0,005	0,006	0,033	0,158	-0,170
1960	-0,052	0,331	0,038	0,013	-0,003	0,117
1961	0,248	-0,456	0,331	0,152	0,097	-0,178
1962	0,100	-0,077	0,103	-0,079	0,068	-0,074
1963	0,124	-0,328	0,082	-0,348	-0,091	-0,232
1964	-0,047	-0,371	-0,306	-0,138	-0,121	-0,346
1965	0,027	0,235	-0,317	0,163	0,460	0,225
1966	-0,015	-0,558	-0,325	0,094	0,032	0,157
1967	-0,080	-0,070	-0,192	0,302	0,220	0,099
1968	0,044	0,286	0,235	0,045	-0,112	-1,100
1969	-0,165	-0,358	-0,083	0,115	-0,314	-0,687
1970	-0,338	-0,424	-0,397	-0,691	-0,622	-0,242
1971	-0,072	-0,137	-0,014	0,064	0,148	-0,171
1972	-0,308	-0,100	-0,244	-0,010	0,268	0,477
1973	0,103	0,158	0,140	0,091	0,094	0,258
1974	0,246	+0,018	0,272	0,140	-0,188	0,320
1975	-0,117	-0,340	-0,382	-0,672	-0,406	0,075
1976	0,171	-0,692	-0,282	0,182	0,359	0,567
1977	-0,062	-0,087	0,071	0,155	0,404	0,260
1978	0,299	0,529	0,241	0,330	0,078	0,260
1979	-0,255	0,262	-0,807	-0,643	-0,390	-0,162
1980	-0,369	0,357	0,341	0,998	0,401	0,279
1981	0,023	0,216	-0,169	0,115	-0,181	0,116
1982	0,152	0,892	0,120	0,433	0,408	0,466
1983	0,497	0,800	1,053	-0,417	-0,268	-0,680

1. Агроклиматические и водные ресурсы районов освоения целинных и залежных земель/Под ред. Ф. Ф. Давитая. — Л.: Гидрометеонадат, 1955. — 463 с.
2. Агроклиматические последствия современных изменений климата//Г. В. Менжулин, С. П. Савватеев, Л. А. Коваль, М. В. Николаев //Проблемы агроклиматического обеспечения Продовольственной программы СССР. Сб. докладов Всесоюз. междувед. семинара "Актуальные проблемы агроклиматического обеспечения Продовольственной программы СССР", Обнинск, 24—27 сент. 1984. — Л., 1987. — С.72—81.
3. Агроклиматический атлас мира/Под ред. И. А. Гольцберг. — М., Л.: Гидрометеонадат, 1972. — 203 с.
4. Агропромышленный комплекс СССР. Стат. сб.—М.: "Финансы и статистика", 1990.—207 с.
5. Алпатьяев А. М. О показателе засухи//Метеорология и гидрология. — 1955, № 4. — С.21—24.
6. Алпатьяев А. М. Характеристика засух//Климатические ресурсы центральных областей Европейской части СССР и их использование в сельскохозяйственном производстве/Под ред. И. А. Гольцберг, О. А. Дроздова. — Л., 1956. — С. 160—172.
7. Антропогенные изменения климата/Под ред. М. И. Будыко, Ю. А. Израэля. — Л.: Гидрометеонадат, 1987. — 406 с.
8. Аракава Х. Изменения климата: Избранные статьи/Пер. с англ. и ред. А. Х. Хргиана. — Л.: Гидрометеонадат, 1975.—100 с.
9. Арутюнян Ю. В. Советское крестьянство в годы Великой Отечественной войны. — М.: изд. АН СССР, 1963. — 424 с.
10. Атлас мирового водного баланса. — М., Л.: Гидрометеонадат, 1974. — 65 с.
11. Атлас по сельскому хозяйству СССР. — М.: изд. ГУГК, 1960. — 309 с.
12. Ациц Дж. Сельскохозяйственная экология/Под ред. Н. К. Софотерова. — М., Л.: Сельхозгиз, 1932. — 344 с.
13. Бараш С. И. О некоторых тенденциях урожайности зерновых культур в Европейской части России и СССР//Тр. ВИР по прикл. бот., ген. и сел. — 1979. — Т. 66, Вып. 1. — С. 85—105.
14. Берг Л. С. Основы климатологии — Л.: изд. Наркомпроса РСФСР, 1938.—455 с.
15. Бова Н. В. О климатическом изучении засух на юго-востоке СССР//Изв. АН СССР. Сер.геогр. и геофиз. — 1946. — Т. 10, № 5. — С. 417—430.
16. Бокс Дж., Денкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. — М.: Мир, 1974.—Вып. 1. — 405 с.
17. Борзенкова И. И., Зубаков В. А. Изменение климата в позднем миоцене и плиоцене//Тр. ГТИ. — 1985. — Вып. 339.—С.93—118.
18. Борзенкова И. И., Зубаков В. А. Климатический оптимум голоцена как модель глобального климата начала XIX века//Метеорология и гидрология. — 1987. — № 10. — С.69—77.
19. Брагина Н. М. Сельское хозяйство: устойчивость экосистем и урожай//Экономическое положение капиталистических и развивающихся стран. Обзор за 1988 и начало 1989 г. Приложение к журналу "Мировая экономика и международные отношения". — 1989. — С. 82—88.
20. Будыко М. И., Гандии Л. С., Ефимова Н. А. Применение физических методов для разработки агроклиматических показателей//Метеорология и гидрология. — 1966. — № 5. — С. 3—10.
21. Будыко М. И. Климат и жизнь. — Л.: Гидрометеонадат, 1971. — 472 с.

22. Будыко М. И. Изменения климата. — Л.: Гидрометеонадат. 1974. — 280 с.
23. Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. — Л.: Гидрометеонадат. 1980. — 352 с.
24. Будыко М. И. Точность оценок климатических условий будущего. — Метеорология и гидрология, 1992, № 5. — С. 5—14.
25. Бучинский И. Е. Засухи и суховеи. — Л.: Гидрометеонадат, 1976. — 198 с.
26. Вавилов Н. И. Мировые ресурсы зерновых культур и льна. — М., Л.: изд. АН СССР, 1957. — 462 с.
27. Вавилов Н. И. Происхождение и география культурных растений. — Л.: Наука/Л. О., 1987. — 438 с.
28. Величко А. А. и др. Климат северного полушария в эпоху последнего (милениумского) межледникового // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1984. — № 1. — С. 5—18.
29. Винников К. Я. Чувствительность климата. — Л.: Гидрометеонадат, 1986. — 220 с.
30. Винников К. Я., Лемешко Н. А., Сперанская Н. А. Влажность почвы и сток антропогенной части территории северного полушария при глобальном потеплении // Метеорология и гидрология. — 1990. — № 3. — С. 5—10.
31. Влияние увеличения количества углекислого газа в атмосфере на климат. Материалы советско-американского совещания по изучению влияния увеличения количества углекислого газа в атмосфере на климат. Ленинград, 15—20 июня 1981 г. — Л.: Гидрометеонадат, 1982. — 56 с.
32. Воейков А. И. Избранные сочинения. Сельскохозяйственная метеорология. — Л.: Гидрометеонадат, 1957. — 257 с.
33. Воллейдт Л. П., Ваулина Г. И. Урожай зерна озимой пшеницы в зависимости от сорта, погоды и удобрений // Эффективность удобрений при различных погодных и климатических условиях. — Тр. ВИАУ. — 1985. — С. 39—43.
34. Вольф М. Б., Дмитриевский Ю. Д. География мирового сельского хозяйства. — М.: Мысль, 1981. — 328 с.
35. Гольцберг И. А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. — Л.: Гидрометеонадат, 1961. — 198 с.
36. Давытов Ф. Ф. Засухи в СССР и научное обоснование мер борьбы с ними по природным зонам // Материалы выездной сессии ВАСХНИЛ по вопросам земледелия и борьбы с эрозией почв в степных и лесостепных районах. — М.: Изд-во мин-ва с/х СССР, 1958. — С. 3—37.
37. Дебрук И., Фишбек Г., Кампе В. Зерновые культуры. Актуальные проблемы/пер. с нем. В. И. Пономарева. — М.: Колос, 1981. — С. 82—124.
38. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур в РСФСР /А. И. Манделла, Н. Н. Нагнбедова, А. А. Френкель и др. — М.: Статистика, 1972. — 192 с.
39. Докучаев В. В. К учению о зонах природы. — М.: Географгиз, 1948. — 28 с.
40. Дорофеев В. Ф., Бараш С. И., Горбатенко Л. Е. Количественные характеристики мирового производства зерна и картофеля в XX веке // Тр. ВИР по прикл. бот. ген. и сел. — 1982. — Т. 72. Вып. 2. — С. 121—129.
41. Дроздов О. А. Засухи и динамика увлажнения. — Л.: Гидрометеонадат, 1980. — 93 с.
42. Дроздов О. А. Об изменении осадков северного полушария при изменении температуры полярного бассейна // Тр. ГГО. — 1966. — Вып. 198. — С. 3—16.
43. Ефимова Н. А. Изменение условий увлажнения на части территории Евразии при возможном глобальном потеплении климата // Метеорология и гидрология. — 1987. — № 11. — С. 54—59.

44. Ефремова Н. И. Месячные количества атмосферных осадков средние для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. — Л.: Гидрометеонадат, 1976. — 112 с.
45. Жуков В. Я., Комарова М. К. Борьба с потерями на уборке зерновых. — М.: Россельхозиздат, 1981. — 143 с.
46. Жуковский Е. Е. Оценки потенциальной эффективности биоклиматической компенсации как метода повышения устойчивости урожая // Докл. ВАСХНИЛ. — 1980. № 1. — С. 35—37.
47. Защита растений/Под ред. Н. Г. Берима. — М.: Агропромиздат, 1986. — 391 с.
48. Зубенок Л. И. Испарение на континентах. — Л.: Гидрометеонадат, 1976. — 264 с.
49. Иванов Н. Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара/Отв. ред. Л. С. Берг. — М., Л.: изд. АН СССР, 1948. — 224 с.
50. Карцев Ю. Г. Эффективность минеральных удобрений в различных природных условиях // Основные условия эффективности применения удобрений. М., 1983. — С. 56—71.
51. Кельчевская Л. С. Влажность почвы Европейской части СССР. — Л.: Гидрометеонадат, 1983. — 182 с.
52. Кеппен В. П. Основы климатологии. — М.: Учпедгиз, 1938. — 375 с.
53. Климатический справочник Западной Европы/Под ред. А. Н. Лебедева и др. — Л.: Гидрометеонадат, 1979. — 678 с.
54. Климатический справочник Северной Америки/Под ред. Е. П. Борисенкова. — Л.: Гидрометеонадат, 1985. — 446 с.
55. Климаты Западной Европы/Под ред. А. Н. Лебедева. — Л.: Гидрометеонадат, 1983. — 389 с.
56. Кобак К. И., Кондрашева Н. Ю. Распределение органического углерода в почвах земного шара // Тр. ГТИ. — 1986. — Вып. 320. — С. 61—76.
57. Коваль Л. А., Николаев М. В., Савватеев С. П. К вопросу о сравнительной оценке климатической продуктивности пшеницы на территории СССР, Западной Европы и Северной Америки // Тр. ГТИ. — 1985. — Вып. 339. — С. 82—92.
58. Козельцева В. Ф., Педь Д. А. Вероятность атмосферных засух на Европейской территории СССР, в Западной Сибири и Северном Казахстане // Тр. ГМИ СССР. — 1982. — Вып. 250. — С. 3—14.
59. Колосков П. И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. — Л.: Гидрометеонадат, 1971. — 328 с.
60. Константинов А. Р., Зондзе Е. К., Смирнова С. И. Почвенно-климатические ресурсы и размещение зерновых культур. — Л.: Гидрометеонадат, 1981. — 278 с.
61. Константинов А. Р., Химин Н. М. Применение сплайнов и метода остаточных отклонений в гидрометеорологии. — Л.: Гидрометеонадат, 1983. — 184 с.
62. Кореньков Д. А. Минеральные удобрения при интенсивных технологиях. — М.: Росагропромиздат, 1990. — 192 с.
63. Корнеев В. А. Причиной изменения устойчивости растений озимой пшеницы в условиях выпревания // Бюлл. ВИР по прикл. бот., ген. и сел. — 1982. — Вып. 116. — С. 70—73.
64. Коровин А. И., Мамаев Е. В., Мокшевский В. М., Осенне-весенние условия погоды и урожай озимых. — Л.: Гидрометеонадат, 1977. — 160 с.
65. Кулик М. С. Погода и минеральные удобрения. — Л.: Гидрометеонадат, 1966. — 139 с.
66. Леднева К. В., Мещерская А. В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади для основных сельскохозяйственных районов СССР (ежегодные данные). — Л.: Гидрометеонадат, 1977. — 157 с.

67. Макарова Л. А., Доронина Г. М. Агрометеорологические предикторы прогноза размножения вредителей сельскохозяйственных культур.—Л.: Гидрометеоиздат, 1988.—212 с.

68. Манделя А. И. Построение районов синхронных колебаний урожаев зерновых культур путем корреляции временных рядов//Ученые записки по статистике.—1973.—Т. XXII—XXIII.—С. 274—294.

69. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов/В. А. Жуков, А. Н. Полевой, А. Н. Витченко и др.—Л.: Гидрометеоиздат, 1989.—278 с.

70. Менжулин Г. В. Влияние изменений климата на урожайность сельскохозяйственных культур//Тр. ГГО.—1976.—Вып. 365.—С. 41—48.

71. Менжулин Г. В., Николаев М. В., Савватеев С. П. Оценка экономической и погодной составляющих изменений урожайности зерновых культур//Тр. ГТИ.—1983.—Вып. 280.—С. 111—119.

72. Менжулин Г. В., Николаев М. В. Методика расчета показателей межгодовой изменчивости и экономических трендов урожайности зерновых культур//Тр. ГТИ.—1987.—Вып. 327.—С. 113—129.

73. Метеорологические данные за отдельные годы по зарубежной территории северного полушария.—4.1а.—Л.: Гидрометеоиздат, 1981.—422 с.—То же.—4.2.—1981.—930 с.

74. Мировой агроклиматический справочник/Под ред. Г. Т. Селянинова.—М., Л.: ГИМЗ, 1937.—419 с.

75. Михайловский В. Г. Урожай в России в 1801—1914 годах//Бюллетень ЦСУ.—М.—1921.—№ 50.—С. 2—8.

76. Многолетние ряды средних сумм средних областных осадков за холодный период для основной сельскохозяйственной зоны СССР/Под ред. А. В. Мещерской, И. А. Бодыревой.—Л.: Гидрометеоиздат, 1988.—286 с.

77. Многолетние ряды средних областных комплексных метеорологических параметров для основной сельскохозяйственной зоны СССР (1891—1980 гг.): Справ. пособие/Под ред. А. В. Мещерской, В. Г. Блаженни; Госкомгидромет, ВНИГМИ МЦД—ГГО.—Л.: изд. ВНИГМИ МЦД, 1985.—324 с.

78. Монсейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур.—Л.: Гидрометеоиздат, 1975.—296 с.

79. Народное хозяйство РСФСР: Стат. ежегодники ЦСУ СССР за 1960—1981 гг. М.: Статистика, 1970—1989.

80. Народное хозяйство СССР: Стат. ежегодники ЦСУ СССР за 1957—1984 гг.—М.: Статистика, 1958—1989.

81. Научно-прикладной справочник по климату СССР.—Сер. 4. Климатические ресурсы экономических районов.—Л.: Гидрометеоиздат, 1989.—76 с.

82. Николаев М. В., Савватеев С. П. Об экономических и климатических изменениях урожайности сельскохозяйственных культур//Вопросы гидрологии суши: Докл. конф. молодых ученых и спец. Ленинград, ГТИ, февраль 1980 г.—Л., 1982.—С. 224—227.

83. Николаев М. В. О расчете изменчивости урожайности зерновых культур с использованием экономических показателей сельскохозяйственного производства//Вопросы гидрологии суши: Докл. конф. молодых ученых и специалистов, Ленинград, ГТИ, март 1983 г.—Л., 1985.—С. 208—213.

84. Николаев М. В. Об экономической и погодо-климатической составляющей урожайности зерновых в США//Тр. ГТИ.—1985.—Вып. 339.—С. 48—60.

85. Николаев М. В., Менжулин Г. В., Савватеев С. П. Некоторые закономерности изменений урожайности зерновых культур на территории СССР и США//Тр. ГТИ.—1985.—Вып. 339.—С. 61—81.

86. Николаев М. В. О методе расчета агротехнической и метеорологической составляющих урожайности пшеницы в европейских странах членах СЭВ//Тр. ВНИР по прикл. бот. ген. и сел.—1989.—Т. 130.—С. 65—76.

87. Николаев М. В. Агроклиматические факторы и изменчивость урожая озимой пшеницы на Европейской части территории СССР//Тр. ВНИР по прикл. бот., ген. и сел.—1989.—Т. 130.—С. 76—93.

88. Николаев М. В. О динамике неурожая пшеницы в регионах зернопроизводства северного полушария//Изв. геогр. об-ва АН СССР.—1991.—Т. 123, вып. 2.—С. 159—165.

89. Николаев М. В. Влияние метеофакторов и технологии возделывания на урожайность пшеницы в зернопроизводящих районах США//Тр. ВНИР по прикл. бот., ген. и сел.—1991.—Т. 141.—С. 22—33.

90. Николаев М. В. Географические закономерности изменчивости урожая пшеницы в зерновом поясе Северной Америки//Тр. ВНИР по прикл. бот., ген. и сел.—1991.—Т. 141.—С. 85—95.

91. Николаев М. В. К сравнительной оценке почвенно-климатических ресурсов и показателей урожайности пшеницы в зернопроизводящих зонах СССР, США и Канады//Бюлл. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева—1993. Вып. 54.—С. 27—36.

92. Николаев М. В. О способах выделения долгопериодных колебаний урожайности зерновых культур//Бюлл. ВНИР по прикл. бот., ген. и сел.—1992.—Вып. 217.—С. 35—40.

93. Николаев М. В. Климатический фактор изменчивости урожайности яровой пшеницы в зернопроизводящей зоне СНГ//Бюлл. ВНИР по прикл. бот., ген. и сел.—1992.—Вып. 217.—С. 49—55.

94. Николаев М. В. О чувствительности изменчивости урожая яровой пшеницы к факторам агроклиматического режима//Тр. ЛГМИ.—1991.—Вып. 110. С. 103—112.

94 а. Николаев М. В. Некоторые закономерности колебаний урожая пшеницы на территории Канады//Бюлл. ВНИР по прикл. бот., ген. и сел. Вып. 231, 1993. — С. 57—62.

94 б. Николаев М. В. Территориальная оценка изменчивости урожайности зерновых культур в зарубежной Европе//Бюлл. ВНИР по прикл. бот., ген. и сел. Вып. 231, 1993. — С. 53—57.

94 в. Николаев М. В. Изменения глобального термического режима и изменчивость урожая зерновых культур//Изв. Русского геогр. о-ва РАН. Т. 126.—Вып. 5. — С. 126.

94 г. Николаев М. В. К оценке возможных изменений вариабельности урожая в будущем//Тр. ВНИР по прикл. бот., ген. и сел. — 1994. — Т. 151. С.

95. Нормы и нормативы для планирования в сельском хозяйстве. Растениеводство/Под ред. А. И. Иевлева.—М.: Агропромиздат, 1988.—272 с.

96. Об оценках агроклиматических последствий современных изменений климата. Сценарий для Северной Америки//Г. В. Менжулин, Л. А. Коваль, М. В. Николаев, С. П. Савватеев//Тр. ГТИ.—1987.—Вып. 327.—С. 132—146.

97. Обухов В. М. Движение урожая зерновых культур в Европейской части России в период 1883—1915 гг./Влияние неурожая на народное хозяйство России: Сб. статей/Под ред. В. Г. Громяна.—Л., 1927.—С. 3—159.

98. Обухов В. М. Урожайность и метеорологические факторы.—М.: Госпланиздат, 1949.—317 с.

99. Павлова В. Н., Сиротенко О. Д. Об использовании динамических моделей для оценки влияния возможных изменений и колебаний климата на урожайность сельскохозяйственных культур//Тр. ВНИИСХМ.—1985.—Вып. 10.—С. 81—91.

100. Павлов Д. П. Экономика зернового хозяйства Канады.—М.: Изд. Гос. соц. экономии, 1934.—246 с.

101. Паников В. Д., Минеев В. Г. Погода, климат, удобрения и урожай.—М.: Агропромиздат, 1987.—512 с.

102. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы/Под ред. Б. Болина и др.—Л.: Гидрометеоиздат, 1989.—555 с.

103. Пасечнюк Л. Е., Сееников В. А. Агроклиматическая оценка суховеев и продуктивности яровой пшеницы.—Л.: Гидрометеониздат, 1983.—127 с.
104. Пасечнюк Л. Е., Пасов В. М., Матвеева Н. С. Агроклиматические ресурсы и условия произрастания зерновых и зернобобовых культур в США.—Л.: Гидрометеониздат, 1989.—271 с.
105. Пасов В. М. Изменчивость урожая яровой пшеницы и ячменя в различных зонах страны// Зерновое хозяйство.—1973.—№ 6.—С. 20—21.
106. Пасов В. М. Устойчивость урожая зерновых культур//Агрометеорология — Нечерноземье.—Л., 1978.—С. 10—12.
107. Пасов В. М. Изменчивость урожая и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур.—Л.: Гидрометеониздат, 1986.—151 с.
108. Педь Д. А. О показателе засухи и избыточного увлажнения//Тр. ГМЦ СССР.—1975.—Вып. 156.—С. 33—47.
109. Педь Д. А. Атмосферная засуха 1981 г.//Тр. ГМЦ СССР.—1985.—Вып. 267.—С. 3—12.
110. Платонова Т. Ф. Прогнозирование динамики урожайности сельскохозяйственных культур.—Киев: Штиница, 1983.—87 с.
111. Полевой А. Н. Теория и расчеты продуктивности сельскохозяйственных культур.—Л.: Гидрометеониздат, 1983.—169 с.
112. Поляк И. И. Методы анализа случайных процессов и полей в климатологии.—Л.: Гидрометеониздат, 1979.—255 с.
113. Почвенная карта мира//Под ред. М. А. Глазковой, В. М. Фридриха.—М.: ГУГК, 1988.—8 с.
114. Предстоящие изменения климата. Совместный советско-американский отчет о климате и его изменениях/Под ред. М. И. Будыко и др.—Л.: Гидрометеониздат, 1991.—272 с.
115. Прескотт Дж. А. Климатические индексы и водный баланс//Климатология и микроклиматология. Сб. статей между симп. в Канберре и Мельбурне/Пер. с англ. К. В. Кувшиновой. — 1964.—С. 40—43.
116. Проблемы атмосферного углекислого газа. Труды советско-американского симпозиума. Душанбе, 12—20 октября 1978 г. — Л.: Гидрометеониздат, 1980.—284 с.
117. Пшеницы мира: Видовой состав. Достижения селекции. Современные проблемы и исходный материал/Под ред. В. Ф. Дорофеева. —Л.: Колос.—1976.—487 с.
118. Раунер Ю. Л. О периодичности засух на территории зерновых районов СССР//Изв. АН СССР. Сер. геогр.—1976.—№ 6.—С. 37—54.
119. Раунер Ю. Л. Климат и урожайность зерновых культур.—М.: Наука, 1981.—163 с.
120. Романова Е. Н., Мосолова Г. И., Вереснева И. А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства.—Л.: Гидрометеониздат, 1983.—245 с.
121. Руденко А. И. Типы засух вегетационного периода и их характеристики//Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай.—Л., 1958.—С. 46—53.
122. Сборники статистико-экономических сведений по сельскому хозяйству России и иностранных государств (годы первый—десятый).—СПб.; Пг.: Отдел сельской экон. и с.-х. стат. Екат. тип. И. Ф. Вайсберга, 1906—1917.
123. Сборник статистических сведений по Союзу ССР, 1918—1923 (за пять лет работы Центрального статистического управления).—М.: изд. ЦСУ СССР, 1924.—481 с.
124. Свисюк И. В. Погода и урожайность озимой пшеницы на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье.—Л.: Гидрометеониздат, 1980.—194 с.
125. Свод урожайных сведений за годы 1883—1915. Материалы центрального статистического комитета по урожаям на наделенных землях.—М.: изд. ЦСУ СССР, 1928.—224 с.

126. Сельское хозяйство в 1920—21 гг.: стат. спр. по нар. хоз-ву/Под ред. С. А. Клепикова.—М.: Новая деревня, 1923.—87 с.
127. Сельское хозяйство России в XX веке: Стат. сб./Под ред. Н. П. Огановского.—М.: Новая деревня, 1923.—340 с.
128. Сельское хозяйство Союза ССР: Стат. спр./Под ред. И. В. Саутина.—М.: Госпланиздат, 1939.—309 с.
129. Сельское хозяйство СССР: стат. сб./М.: Статистика, 1959.—547 с.; 1960.—665 с.; 1971—711 с.; 1988—709 с.
130. Сельское хозяйство США: Стат. сб./Под ред. В. Н. Назаренко.—М.: изд. ВНИИТЭИСХ, 1963.—87 с.
131. Сельскохозяйственный промысел в России: Атлас/Под ред. А. В. Кривошеина.—Пг.: изд. Департамента земледелия, 1914.—363 с.
132. Селянинов Г. Т. Специализация сельскохозяйственных районов по климатическому признаку//Растениеводство СССР. Т. 1 М., 1933.—С. 1—15.
133. Селянинов Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР//Вопросы агроклиматического районирования СССР.—М., 1958.—С. 7—13.
134. Семенов М. И. К вопросу о закономерности колебаний урожая//Вест. статистики.—1922.—Кн. II, № 5.—С. 57—96.
135. Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплого режима и продуктивности агроэкосистем.—Л.: Гидрометеониздат, 1981.—167 с.
136. Средние многолетние запасы продуктивной влаги под озимым и ранними яровыми зерновыми культурами по областям, краям, республикам и экономическим районам, Л.: Гидрометеониздат, 1986.—Т. 1: Европейская часть СССР.—123 с.; 1989.—Т. 2: Урал, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Казахстан, Средняя Азия. — 67 с.
137. Средние многолетние и вероятностные характеристики запасов продуктивной влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами.—Л.: Гидрометеониздат, 1979.—Т. 1: Европейская часть СССР.—292 с.; 1981.—Т. 2: Западная и Восточная Сибирь.—167 с.; 1980.—Т. 3: Якутская АССР, Забайкалье, юг Дальнего Востока.—96 с.; 1981.—Т. 4: Казахстан.—97 с.
138. Статистические ежегодники по мировому сельскому хозяйству/М.: Изд. Межд. аграр. инст., 1922.—290 с.; 1928.—380 с.; 1930.—525 с.; 1932.—1014 с.
139. Статистические ежегодники стран-членов СЭВ — М.: Финансы и статистика, 1976—1990.
140. Статистические справочники СССР за 1927 и 1928 гг. — М.: Изд. ЦСУ СССР, 1927. — 446 с.; 1929.—958 с.
141. Статистический ежегодник 1921 года//Тр. ЦСУ СССР.—1922.—Т. 8, Вып. 3.—371 с.
142. Тренды и сглаживание//Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов/Пер. с англ. И. Г. Журбенко.—М., 1976.—Гл. 3.—С. 43—107.
143. Ульянова Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы.—Л.: Гидрометеониздат, 1975.—301 с.
144. Унянц Т. Г. Химизация сельского хозяйства в СССР и за рубежом.—М.: Химия, 1981.—192 с.
145. Урожай хлебов и трав в 1925 и 1926 гг.—М.: Статиздат, 1929.—221 с.
146. Урожай зерновых хлебов и подсолнуха по районам, межобластям и областям Союза ССР в 1934 году.—М.: Союзоргучет, 1935.—325 с.
147. Федоров В. К. Погода и урожай.—Л.: Гидрометеониздат, 1973.—56 с.
148. Фортунатов А. Ф. Несколько страниц из экономики и статистики сельского хозяйства. — М.: Новая деревня, 1925.—70 с.
149. Хигби Э. География сельского хозяйства США/Под ред. В. П. Ковалевского.—М.: Иностр. лит., 1961.—367 с.
150. Хлебные злаки. Пшеница/Под ред. Н. И. Вавилова, Е. В. Вульф.—М.; Л.: Гос. изд-во сов. и колх. лит-ры, 1935.—С. 19—25.
151. Хлебунин Е. Б. Экономика зернового хозяйства в развитых капиталистических странах.—М.: Колос, 1975.—318 с.

152. Хорошилов И. И., Хорошилова В. И. Сельское хозяйство Канады.—М.: Колос, 1976.—367 с.
153. Шубербиалер Е. А. Суховен: их агрометеорологическая сущность и пути борьбы с ними.—М.: Колос, 1966.—110 с.
154. Череванин Ф. А. Влияние колебаний урожаев на сельское хозяйство в течение 40 лет — 1883—1923 гг.//Влияние неурожая на народное хозяйство России/Под ред. В. Г. Громова.—Л., 1927.—С. 160—301.
155. Черникова М. И. Метод прогноза фактической урожайности яровых зерновых культур для программирования урожая//Тр. Зап.-Сиб. РНИИ.—1984.—Вып. 67.—С. 16—33.
156. Четвериков Н. С. Колебания урожаев, как фактор, влияющий на устойчивость сельского хозяйства в России//Стат. и стохаст. исследования: Сб. статей.—М., 1963.—С. 42—68.
157. Чирков Ю. И., Кононова Н. К. Связь изменчивости урожайности зерновых культур с современными колебаниями климата//Метеорология и гидрология.—1989. № 2.—С. 105—109.
158. Шашко Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР.—Л.: Гидрометеоиздат, 1985.—247 с.
159. Шверц А. А. Атмосферные осадки на территории СССР.—Л.: Гидрометеоиздат, 1976.—300 с.
160. Шереметова Л. М. Многолетние колебания годовых сумм осадков в Северной Америке//Тр. ГГО.—1975.—Вып. 354.—С. 86—94.
161. Юзбашев М. М., Манделя А. И. Статистический анализ тенденций и колеблемости.—М.: Финансы и статистика, 1983.—207 с.
162. Яковлев Н. Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы в СССР.—Л.: Гидрометеоиздат, 1966.—419 с.
163. Ястремский Б. С. Количественное выражение субъективной характеристики урожая//Вест. статистики.—1922.—кн. II.—№ 5—7.—С. 97—131.
164. Agricultural statistics of Eastern Europe and Soviet Union 1950—1970.—Wash. D. C.: USDA. Econ. research serv., 1973.—106 p.
165. Agricultural statistics of United States.—Wash., D. C.: USDA. Gov. printing off., 1936—1990.
166. Andrews F. Handbook of foreign agricultural statistics.—Wash. D. C.: USDA. Gov. print. off., 1921—69 p.
167. Annual fertilizer review.—Rome: FAO, 1978.—56 p.
168. Atlas of agriculture.—Wash., D. C.: USDA. Gov. printed off., 1975.—129p.
169. Atlas of Canada.—Ottawa-Montreal: Gov. printed off., 1970.—115p.
170. Borchert J. R. The climate of the central North American grassland//Ann. Ass. Amer. Geogr.—1950.—Vol. 40, № 1.—P. 1—22.
171. Butterworth S. On the theory of filter amplifiers//Experim. wireless and wireless engineer.—Vol. 7, № 85.—1930.—P. 536—541.
172. Canada year book: Official statistical annual of the resources, history, institutions and economic conditions of Canada.—Ottawa-Montreal: Dominion bureau of statistics, 1895—1988/89.
173. Canadian climate normals 1951—1980. Vol. 2. Temperature. Vol. 3. Precipitation./A publication of the Canadian climate program.—Toronto: "Envir. Canada", 1982.—602p.
174. Climate change. The IPCC scientific assessment (WMO, UNEP)/Eds. J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums.—Bracknell: Cambridge univer. press, 1990.—365p.
175. Climates of North America/Eds.: R. A. Bryson et al.—Amsterdam: World Survey Climate.—Elsev. Sc. Publ. CO.—1974.—Vol. II.—420p.
176. Climatological atlas of Canada/Prep. by M. K. Thomas.—A joint publication of Meteorological division, Dept. of Transport, Ottawa, 1953.—255p.
177. Climatic atlas of the United States/Prep. by S. S. Visser.—Harvard University press, Cambridge, 1954.—403p.

178. Connor A. J. Droughts in Western Canada//Canada year book 1933.—Part VII, sec. 7.—P. 47—59.
179. Crop production.—Wash. D. C.: USDA. Govern. printing off., 1965—1990.
180. Crop yields and climate change to the year 2000.—Wash. D. C.: National Defense univer., 1978, 1980.
181. Diaz H. F. Some aspects of major dry and wet periods in contiguous US 1895—1981//Journ. Clim. and Appl. Meteorol.—1983.—Vol. 22, № 1.—P. 3—16.
182. "Dramatic" increase in combine harvester output//Power Farm Equipent.—1977. Vol. 56, № 9.—37 p.
183. FAO monthly (quarterly) bulletin of agricultural economic and statistics.—Rome: Int. Agr. Inst., 1947—1990.
184. Finneil H. H. Water conservation in Great Plains wheat production// Agr. Exper. St. Bull.—1944.—№ 665.—31p.
185. Flavin C. Slowing global warming: A worldwide strategy//Worldwatch paper.—Oct. 1989.—93p.
186. Flohn H. Climatic prospects in the case of an extended, CO₂-induced warming//Z. Meteorol.—1985.—Bd 35, H. 1.—S. 1—14.
187. Hewes L. Causes of wheat failure in the dry farming region central Great Plains 1939—1957//J. econ. geogr.—1965.—№ 41.—P. 313—330.
188. Historical statistics of Canada/Eds. M. C. Uguhart, K. A. Buckley.—Toronto: The Macmillan comp. of Canada Ltd. 1965.—P. 315—485.
189. Historical statistics of the United States. Colonial Time to 1970.—Wash. D. C.: Bureau of census, 1975.—Part 1.—609p.
190. Hoyt J. C. Droughts of 1930—1934//US Geol. Surv. Water supply Paper.—1936.—№ 680.—106p.
191. Johnson W. S. Some observations on the contribution of an inch of seedling soil moisture to wheat yield in the Great Plains//Agron. J.—1964.—Vol. 56, № 1.—P. 29—33.
192. Karl T. R., Koscienciny A. J. Drought in the United States: 1895—1981//Journ. Climatol.—1982.—Vol. 2, № 4.—P. 313—329.
193. Lehane J. J., Staple W. J. Influence of soil texture, depth of soil moisture storage and rainfall distribution on wheat yields in southwestern Saskatchewan//Can. J. Soil Sci.—1965.—Vol. 45.—P. 207—208.
194. Lydolph P. E., Williams T. B. The North American sukhovery//Ann. Ass. Amer. geogr.—1982.—Vol. 72, № 2.—P. 224—236.
195. Manabe S. Carbon dioxide and climatic change//Adv. in Geophys.—1983.—Vol. 25.—P. 39—82.
196. Monthly climatic data for the World/Prepared in cooperation with the WMO/NOAA, Nat. envir. satel. data and inform. serv., Nat. clim. data center, Ashville, N. C., Vol. 29—37, № 11, US Dept. of commerce, 1976—1983.
197. Official guide tractors and farm equipment. North american Equip. dealers association. Fall 1990.—St. Louis, MO: J. Hancock comp., 1991.—255p.
198. On the assessment of role of CO₂ on climate variations and their impact. Meeting of Experts. Villach, Austria, Nov. 1980.—Geneva: Joint WMO-UNEP, 1981.—29p.
199. Outline plan and basis for the world climate programme 1980—1983.—Geneva: WMO Report № 540, 1983.—64p.
200. Palmer W. C. Meteorological drought//US Dept of Commerce. Reserv. Paper—1965.—№ 45.—P. 1—58.
201. Rainfall patterns.../Ed. L. Berkofsky.—Geneva: WMO (Data. Applic. Impact. Res.), 1983.—82 p.
202. Rocznik K. Die Niederschlagsverhältnisse in Deutschland im Zeitraum 1881—1975//Meteor. Rosch.—1976.—Bd. 29, № 6.—S. 187—189.
203. Sakamoto C. et al. Climate and global grain yield variability//Clim. change.—1980.—Vol. 2, № 4.—P. 349—360.

204. Schlömer F. C. An international comparison of trends in cereal yields during 1920—1955//Monthly bull. of agric. economics and statistics.—1956. Vol. 5, № 12.—P. 1—15.
205. Smagorinsky J. Climatic changes due to CO₂// Jour. Human Envir. — 1983.—Vol. 12, № 2.—P. 83—85.
206. Splinter W. Center — Pivot irrigation // Sci. Amer.—1976. Vol. 234, № 6.—P. 29—36.
207. Statistical abstract of United States.—Wash. DC.: U.S. Dept. of commerce. Bureau of foreign and domestic commerce. Print office, 1898—1990.
208. Swaminathan M. Global aspects of food production/Geneva: WMO Proc. World Climate Conference.—1979.—38p.
209. Tannehill I. R. Drought: its causes and effects.—Princeton, N. J.: Princeton univ. press, 1947.—264p.
210. The agricultural situation.—Wash. D. C.: USDA. Bureau of agr. economics, 1947—1980.
211. The Impact of climatic variations on agriculture/Ada M. L. Parry et al. Vol. 2 Assessment in semiarid regions.—Dordrecht—Boston—London: Kluwer Acad. publ., 1988.—764 p.
212. The national atlas of the USA. — Wash. D. C.: US Dept. of Interior Geological Survey, 1970.—174 p.
213. Thompson L. M. Weather variability, climatic change and grain production//Science.—1975.—Vol. 188.—P. 535—541.
214. Tice C. The „Titans“//Power Farm Equipment.—1978.—Vol. 66.—№ 3.—P. 34—35.
215. Vinnikov K. Ya., Groisman P. Ya., Lugina K. M. Empirical Data on Contemporary Global Climate Changes (Temperature and Precipitation)//Jour. of Climate.—1990.—Vol. 3.—P. 662—677.
216. Waggoner P. E. Variability of annual wheat yields since 1909 among nations//Agric. meteorology—1979, Vol. 2.—№ 20.—P. 41—45.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Посевные площади, валовой сбор и урожайность зерновых культур в регионах умеренного пояса	12
1.1. Размещение посевов	12
1.2. Динамика посевных и уборочных площадей	18
1.3. Динамика валовых сборов	23
1.4. Хозяйственная урожайность пшеницы и других зерновых культур	26
Глава 2. Способы определения агротехнической составляющей динамики урожая	32
2.1. Некоторые закономерности временных изменений урожайности	32
2.2. Агротехнические показатели интенсификации зернопроизводства	35
2.3. Метод расчета детерминированной составляющей динамики урожайности с привлечением информации о показателях агротехнологии	41
2.4. Агротехнические тренды урожайности пшеницы в регионах интенсивного земледелия	46
2.5. Выделение агротехнических трендов в длительной динамике урожая	57
Глава 3. Колебания урожайности под действием погодных факторов и климата	61
3.1. Основные причины и факторы, вызывающие неустойчивость урожая во времени и пространстве	61
3.2. Погодно-климатическая составляющая динамики урожая и ее характеристики	63
3.3. Связь колебаний урожайности с изменчивостью погодных условий	70
3.4. Пространственная корреляция аномалий урожайности пшеницы в регионах зернопроизводства северного полушария	79
3.5. Засухи и динамика неурожая	86
3.6. Спектральный анализ временных рядов аномалий урожайности	100
Глава 4. Географические закономерности изменчивости урожая и факторы агроклиматического режима	105
4.1. Показатели погодно-климатической изменчивости урожайности	105
4.2. Территориальные закономерности изменчивости урожая в зернопроизводящих регионах северного полушария	109

4.3. Изменчивость урожая и факторы агроклиматического режима	123
4.4. Сравнительная оценка почвенно-климатических ресурсов и показателей урожайности пшеницы в зернопроизводящих зонах СССР, США и Канады	141
Глава 5. Оценки ожидаемой variability урожая при изменениях современного климата	151
5.1. Изменения современного климата и условия произрастания зерновых культур	151
5.2. Глобальный термический режим и изменчивость урожая	156
5.3. Оценки ожидаемых изменений variability урожая согласно климатическим условиям будущего	165
Заключение	181
Приложение	185
Список литературы	189

МОНОГРАФИЯ

Михаил Валентинович Николаев

СОВРЕМЕННЫЙ КЛИМАТ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОЖАЕВ

Редактор Н. С. Смирнова. Художник Г. Б. Бурмистров

Технический редактор Е. Я. Заводько.

Корректор Г. Н. Римант

Подписано в печать 27.04.94. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 11,63. Усл. кр.-отт. 11,86. Уч.-изд. л. 13,13. Тираж 400 экз. Индекс ГЛ-3. Заказ 384. Заказное. Гидрометеонадат, 199397, Санкт-Петербург, В. О., ул. Беринга, д. 38. ФОП, 249020, Обнинск, ул. Королева, д. 6.

Список замеченных опечаток

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
2	2 стр.	agrometeorolists	agrometeorologists
5	15 стр.	Дж. Ацци	Дж. Ацци
9	4 стр.	количественный	количественный
20	3 стр.	катастрофический	катастрофический
28	14 стр.	укрепленным	укрупненным
30	14 стр.	культры	культуры
44	8 стр.	(кг д.в/га)	(кг п. в/га)
62	2 стр.	сглаженными	сглаженным
80	1 стр.	меридиональных	меридиональных
84	18 стр.	—0,40	0,40
105	8 стр.	Европейской	Европейской
111	14 стр.	характерна	характерна
117	12 стр.	напротив	например
117	22 стр.	показатель	показатель
125	14 стр.	символы	символом
132	2 стр.	неколлинеарны	неколлинеарны
139	4 стр.	факторных	факториальных
143	20 стр.	цветение—колошение	колошение—цветение
158	17 стр.	Comertional	Commercial
171	10 стр.	(нет сноски)	*
183	4 стр.	количество	количества
189	15 стр.	Г. Денкинс	Г. Дженкинс
189	10 стр.	XIX века	XXI века
190	16 стр.	Гидрометеонадзата	Гидрометеонадат
194	17 стр.	Вереснева И. А.	Береснева И. А.
197	24 стр.	rainfull	rainfall