

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ»

На правах рукописи

БЕРЕЗА ОЛЬГА ВИКТОРОВНА

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ  
КУЛЬТУР КО ВРЕМЕНИ ПРЕКРАЩЕНИЯ ВЕГЕТАЦИИ ОСЕНЬЮ  
ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Специальность 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Научный руководитель:  
доктор географических наук, профессор  
Клещенко Александр Дмитриевич

Москва – 2018 г.

<b>Оглавление</b>	<b>Стр.</b>
<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Состояние проблемы мониторинга озимых зерновых культур в оперативном агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства России .....</b>	<b>17</b>
1.1. Озимые зерновые культуры – основа зернового баланса страны .....	17
1.2. Гидротермический и радиационный режимы как факторы развития озимых культур .....	30
1.3. Мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в системе агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства России.....	42
1.4. Обзор зарубежных систем мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур .....	48
<b>Глава 2. Возделывание озимых зерновых культур в условиях изменения климата .....</b>	<b>56</b>
2.1. Изменение теплового режима и режима увлажнения в период сева и осенней вегетации озимых зерновых культур .....	59
2.2. Изменение агроклиматических условий зимовки озимых зерновых культур .....	67
2.3. Динамика условий увлажнения в весенне-летний период вегетации....	70
<b>Глава 3. Сроки сева озимых зерновых культур и метод их расчёта в изменяющихся погодно-климатических условиях .....</b>	<b>86</b>
3.1. Продолжительность осеннего периода вегетации озимых зерновых культур в изменяющихся погодно-климатических условиях .....	87
3.2. Средние многолетние оптимальные сроки сева озимых зерновых культур в изменившихся агроклиматических условиях .....	91
3.3. Метод расчёта оптимальных сроков сева озимых культур для конкретных лет .....	109
<b>Глава 4. Количественная оценка состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации осенью по данным наземных и спутниковых наблюдений .....</b>	<b>116</b>
4.1. Пространственная и временная изменчивость площади посевов озимых культур с плохим состоянием осенью.....	117
4.2. Основы разработанной новой методики расчёта количественной оценки состояния посевов озимых культур ко времени прекращения вегетации.....	129
4.3. Количественная оценка площади посевов озимых культур с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации по субъектам федеральных округов .....	133
4.3.1. Приволжский федеральный округ .....	134
4.3.2. Центральный федеральный округ .....	144
4.3.3. Южный и Северо-Кавказский федеральные округа .....	154
4.3.4. Уральский и Сибирский федеральные округа .....	156
<b>Заключение .....</b>	<b>161</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>164</b>

Сокращения слов и словосочетаний, часто применяемые  
при оформлении работы

АПК России	Агропромышленный комплекс России
ФГБУ	Федеральное государственное бюджетное учреждение
«ВНИИСХМ»	«Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии»
ГМС	Гидрометеорологическая станция
ГТК	Гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова
ДЗЗ	Дистанционное зондирование Земли
ИКИ РАН	Институт космических исследований Российской академии наук
МСХ РФ	Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Росстат	Федеральная служба государственной статистики
УГМС	Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
ПФО	Приволжский федеральный округ
СФО	Сибирский федеральный округ
УФО	Уральский федеральный округ
ФАР	Фотосинтетически активная радиация
ЦФО	Центральный федеральный округ
ЮФО	Южный федеральный округ
С–К ф.о.	Северо–Кавказский федеральный округ
NDVI	Нормализованный разностный индекс состояния растительности
k*h	Характеристика биомассы посевов озимых культур (произведение кустистости на высоту растений)

## ВВЕДЕНИЕ

Производство зерна является наиболее крупной отраслью сельского хозяйства Российской Федерации, от развития которой в значительной степени зависит продовольственная безопасность страны. В соответствии с положениями Доктрины продовольственной безопасности России [Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, 2010 – электронный ресурс] пороговое значение удельного веса зерна собственного производства должно составлять не менее 95 %.

Согласно долгосрочной стратегии развития зернового комплекса России до 2030 года валовой сбор зерна в стране намечено увеличить до 130 млн. тонн. Итоги уборки зерновых культур в 2017 году, когда валовой сбор зерна (по предварительным данным) даже несколько превысил намеченные показатели, доказали возможность достижения таких результатов. Однако в неблагоприятные по погодным условиям годы валовые сборы зерна резко снижаются. Так, даже в 2012 году, менее засушливом, чем 2010 год (когда было собрано всего 60,9 млн. тонн зерна), собрано всего 70,9 млн. тонн. В связи с этим для получения высокой и стабильной урожайности и валовых сборов зерновых культур важное значение приобретает наиболее полное и рациональное использование климатических ресурсов и погодных условий различных регионов России.

Поскольку основная площадь пахотных земель в нашей стране расположена в районах неустойчивого и рискованного земледелия, то в условиях наблюдаемого глобального изменения климата важнейшее значение приобретает увеличение достоверности оперативной информации о складывающихся и ожидаемых погодных условиях, оценке их влияния на состояние и формирование продуктивности сельскохозяйственных культур и, в частности, озимых зерновых культур, которые в благоприятные по погодным условиям годы обеспечивают до 45–48 % валового сбора зерна в стране. Однако валовые сборы озимых также сильно колеблются. В 2012 году, например, валовой сбор озимой пшеницы составил всего 25 млн. тонн, тогда как в 2016 г., когда в большинстве районов увлажнение было достаточным – 53 млн. тонн, а в 2017 году более 60 млн. тонн.

Значительные колебания валовых сборов озимых культур по годам можно объяснить главным образом тем, что их урожайность зависит не только от гидрометеорологических условий весенне-летнего периода, но и от условий сева и осенней вегетации, а также от перезимовки растений, «вклад» которых в зависимости от совокупности этих условий в конкретные годы составляет от 20 до 40 %.

Из-за большого разнообразия природно-климатических условий на территории Российской Федерации в осенний период ежегодно наблюдаются районы, на территории которых складываются неблагоприятные условия для сева и развития озимых культур. В большинстве субъектов Чернозёмной зоны основной причиной плохого состояния озимых осенью являются засушливые условия [Грудева, 1966; Моисейчик, 1975; Личикаки, 1974, Свисюк, 1980; Страшная, Максименкова, Чуб (Береза), 2011]. В условиях засухи сев озимых переносится на более поздние сроки, при этом посевы оказываются в неблагоприятных условиях тепло- и влагообеспеченности, что приводит к увеличению размеров площади с плохим состоянием к моменту прекращения осенней вегетации.

В исследованиях метеорологов и агрометеорологов изучению погодно-климатических условий периода сева озимых культур и условий их развития осенью уделялось недостаточно внимания. В большинстве работ рассматривалось изменение температурного режима и осадков календарной осени [Грудева, 1966; Козельцева, 1982, Моисейчик, 1975]. Однако на преобладающей территории сев озимых начинается уже в августе и выбор оптимальных сроков сева, как одного из приёмов разрабатываемых в настоящее время адаптивных технологий возделывания этих культур, в меняющихся климатических условиях в период август – сентябрь является весьма важным.

Средние многолетние сроки сева озимых зерновых культур ранее были установлены по данным наблюдений гидрометстанций в основном за период 1950–1975 гг. [ШигOLEV, 1957, Грудева, 1966, Моисейчик, 1975, Максименкова, 1976]. Однако в связи с потеплением климата, которое особенно ярко проявилось уже с середины 70–х годов, возникла необходимость исследования реакции растений на изменившиеся условия с целью адаптации к этим условиям, разработки метода

расчёта сроков сева в современных условиях и подготовки рекомендаций о возможных оптимальных сроках сева озимых в конкретные годы.

Известно, что гибель озимых к весне происходит не только из-за неблагоприятных условий зимовки, но в значительной степени и из-за плохого состояния их осенью ко времени прекращения вегетации [Грудева, 1966; Моисейчик, 1975; Личикаки, 1974; Свисюк, 1980]. Поэтому представляется весьма важной и актуальной проблема количественной оценки площади озимых культур с плохим состоянием посевов, а также мониторинг агрометеорологических условий и состояния растений осенью. Такой мониторинг особенно необходим для учёта площади с плохим состоянием посевов осенью в прогнозах ожидаемого состояния озимых культур весной после зимовки, для своевременной подготовки к пересеву погибших озимых и при прогнозировании валовых сборов зерна этих культур.

В южных районах России, где сосредоточена значительная площадь озимых зерновых культур, за последние 17 лет (в период 1999–2015 гг. по сравнению с 1982–1998 гг.) наблюдалось увеличение повторяемости засух в период сева и начала вегетации озимых культур, что негативно сказывалось на их состоянии [Вильфанд, Страшная, Береза, 2016]. Наибольшая площадь озимых с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации в Приволжском федеральном округе, например, наблюдалась осенью 2005 г – 14 % от общей посевной площади в округе, а осенью 2010 г – 16 %. Весной 2006 г. и весной 2011 г., по данным Росстата, площадь озимых с плохим состоянием составляла, соответственно, 36,6 % и 19,7 %, т.е. гибель посевов более чем на половине площади в этом округе происходила осенью [Страшная и др., 2014; Береза и др., 2016 – электронный ресурс].

В связи со сказанным, проблема расчёта площади с плохим состоянием посевов озимых культур ко времени прекращения вегетации является **весьма важной и актуальной.**

В Гидрометцентре России с середины девяностых годов прошлого века для подготовки оперативных докладов в органы власти и управления АПК Российской Федерации о состоянии озимых культур ко времени прекращения осенней вегетации использовались данные наблюдений гидрометстанций, результаты маршрутных обследований посевов, а по ряду южных районов европейской части России и

данные спутниковых наблюдений. По отдельным территориям использовались способы расчёта площади с плохим состоянием озимых по наземным данным [Максименкова, 1976, 1990].

Однако, сокращение плотности сети пунктов наземных наблюдений, сложность проведения маршрутных обследований в последние десятилетия, а также фрагментарность спутниковых данных создавали трудности в определении размеров площади озимых с плохим состоянием осенью, что вызвало необходимость разработки новых способов наблюдений за состоянием посевов, которые были бы достаточно надёжны, однородны и выполнялись с чёткой периодичностью на больших территориях для использования их в расчётах площади с различным состоянием посевов.

В настоящее время появились работы [Лупян, Барталев, Савин, 2009; Барталев, Лупян и др., 2006; Толпин, 2010; Толпин и др., 2011], в которых показана возможность оценки состояния озимых культур по данным спутниковых наблюдений на больших территориях, при этом состояние посевов оценивается на качественном уровне («хуже» – «лучше» среднегодовых данных или по сравнению с прошлым годом).

Проведенные исследования, основанные на использовании сформированных нами временных рядов метеорологических данных наземных наблюдений и спутниковой информации (нормализованный разностный индекс состояния растительности – NDVI), показали хорошую сопряжённость и эффективность совместного использования этих данных для разработки новой методики расчёта количественной оценки площади озимых с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации [Страшная и др., 2014; Береза и др., 2016 – электронный ресурс].

Предпосылкой для создания новой методики явилось также внедрение в Гидрометцентре России в автоматизированное рабочее место агрометеоролога (АРМ) разработанного в ИКИ РАН веб-сервиса «Вега», что позволяет использовать общедоступные данные спутниковых наблюдений в оперативном режиме [<http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=144>; <http://pro-vega.ru/> – режим доступа]

**В связи с вышесказанным, была определена цель работы.**

***Разработка новой методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур (площади с плохим состоянием) ко времени прекращения осенней вегетации с использованием наземной и спутниковой информации.***

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- выявление особенностей динамики площади озимых с плохим состоянием осенью в основных районах возделывания озимых зерновых культур;
- исследование изменчивости агроклиматических условий вегетации озимых зерновых культур за период с 1980 по 2015 годы;
- расчёт средних многолетних оптимальных сроков сева озимых культур в изменившихся климатических условиях;
- разработка метода прогноза оптимальных сроков сева озимых культур для конкретных лет;
- разработка новой методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур (площади с плохим состоянием) ко времени прекращения вегетации по озимосеющим регионам России на основе использования наземных данных и спутниковой информации.

### **Методы исследования**

Работа выполнялась поэтапно в соответствии с указанными выше задачами. Проведен анализ и обобщение литературных источников; при обработке собранных многолетних материалов для решения поставленных задач использованы методы математической статистики и сравнительно-географический метод исследования.

### **Научная новизна работы**

Впервые в агрометеорологии разработана методика расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации (площади с плохим состоянием посевов) на основе использования наземных данных и спутниковой информации для оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства Российской Федерации.



Установлены основные агрометеорологические факторы, определяющие состояние озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации.

Выявлены тенденции тепло- и влагообеспеченности озимых культур в условиях глобального изменения климата и определены риски засух в период сева, осенней и весенне-летней вегетации растений.

Разработан новый метод прогноза оптимальных сроков сева озимых культур для конкретных лет, в том числе аномальных, в изменившихся агроклиматических условиях.

**Обоснованность и достоверность** научных положений и выводов, содержащихся в диссертационном исследовании, обусловлена:

- анализом большого объема фактических данных (многолетних наземных полевых наблюдений сети гидрометеорологических станций Росгидромета, спутниковой информации, данных Росстата);
- применением современных статистических методов обработки и оценки полученных результатов исследований с использованием апробированных методов;
- подтверждением результатов расчётов площади озимых с плохим состоянием осенью по разработанной новой методике данными о фактической доле (площади) таких посевов весной после перезимовки по данным Росстата и данными маршрутных обследований посевов сетевыми организациями Росгидромета.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы**

1. Исследована изменчивость агроклиматических условий вегетации озимых зерновых культур в осенний и весенне-летний периоды с 1980 по 2015 гг. Полученные результаты исследования используются в Гидрометцентре России и ряде сетевых организаций Росгидромета в практической работе для оценки условий вегетации озимых культур в конкретные годы при подготовке оперативной аналитической агрометеорологической информации для потребителей и могут быть использованы для оценки условий вегетации других сельскохозяйственных культур, а также для решения задач по адаптации растениеводства к изменениям климатических ресурсов регионов.

2. Установлены закономерности влияния на озимые культуры в конце вегетации (размеры площади с плохим состоянием) агрометеорологических факторов (температура воздуха, осадки, запасы продуктивной влаги в почве) и индекса NDVI – индикатора зелёной фитомассы растений. Впервые показана возможность комплексирования наземных данных наблюдений гидрометстанций и спутниковой информации для оперативного мониторинга состояния озимых культур осенью на больших площадях и расчёта количественной оценки их состояния в конце вегетации.

3. Выявлено, что эффективность совместного использования наземных данных и спутниковой информации при оценке площади с плохим состоянием посевов озимых культур ко времени прекращения вегетации наиболее четко выражена в субъектах южной половины европейской территории России, где в осенний период наблюдаются контрастные погодно-климатические условия.

4. Установленные зависимости продолжительности периода осенней вегетации озимых культур от даты перехода средней температуры воздуха через 15 °С в сторону понижения могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве для планирования мероприятий по уходу за посевами.

5. Разработанный новый метод расчёта оптимальных сроков сева озимых культур позволяет сельхозтоваропроизводителям выбрать оптимальный срок сева озимых в конкретные, в том числе аномальные, годы.

6. Результаты диссертационного исследования могут иметь широкое практическое применение в оперативной работе агрометеорологов, а именно для составления докладов о состоянии озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации, при расчетах оптимальных сроков сева озимых в конкретные годы и при составлении прогнозов перезимовки озимых культур. Полученные результаты находят применение и в агрономической практике.

7. Использование полученных результатов исследований в современных условиях позволяет вывести на новый технологический уровень решение задач объективного дистанционного мониторинга состояния озимых зерновых культур осенью на больших площадях, основанного на совместном использовании наземных и спутниковых данных.

8. Впервые в агрометеорологии разработана новая методика расчёта количественной оценки состояния озимых культур осенью; её внедрение даёт возможность оперативно представлять в органы государственной власти и управления АПК наиболее достоверную информацию о состоянии озимых зерновых культур ко времени прекращения осенней вегетации по каждому субъекту, федеральным округам и в целом по Российской Федерации.

### **Положения, выносимые на защиту и личный вклад автора**

#### **На защиту выносятся**

1. Оценка тенденций изменений агроклиматических условий возделывания озимых зерновых культур и рисков засух в осенний и весенне-летний периоды вегетации;
2. Метод прогноза оптимальных сроков сева озимых культур в изменившихся агроклиматических условиях для основных озимосеющих районов России;
3. Оценка изменений площади с плохим состоянием озимых зерновых культур ко времени прекращения осенней вегетации по федеральным округам Российской Федерации за период с 1986 по 2015 гг. и по субъектам – с 2000 г.;
4. Новая методика количественной оценки состояния озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации (площади с плохим состоянием посевов) по территории озимосеющих районов Российской Федерации на основе использования наземных данных и спутниковой информации.

*Личный вклад* автора заключается в разработке специализированных баз данных многолетних наземных гидрометеорологических наблюдений и спутниковой информации, статистической информации по урожайности, валовому сбору и посевным площадям озимых зерновых культур, обработке данных и реализации задач по разработке метода прогноза оптимальных сроков сева, количественной оценки состояния озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации (площади с плохим состоянием посевов) по территории озимосеющих районов Российской Федерации на основе использования наземных данных и

спутниковой информации, интерпретации полученных результатов исследований, их визуализации и подготовке публикаций по теме диссертации.

### **Апробация работы**

Основные положения и отдельные результаты диссертационной работы были опубликованы, докладывались, обсуждались и получили одобрение на следующих международных научных конференциях: «Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях изменения климата» (Обнинск, 2009, 2010, 2011, 2012 гг.), научно – практической конференции «Спутниковый мониторинг сельскохозяйственных земель Северной Евразии» (Москва, октябрь 2013 г.), XII и XIV Всероссийских открытых ежегодных конференциях «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 2014, 2016 гг.).

### **Публикации**

По теме диссертации автором опубликовано 14 работ, включая 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК России для опубликования научных результатов диссертаций.

1. Страшная А.И., Барталев С.А., Максименкова Т.А., Чуб О.В. (Береза О.В.), Толпин В.А. Плотников Д.Е., Богомоллова Н.А. Агрометеорологическая оценка состояния озимых зерновых культур в период прекращения вегетации с использованием наземных и спутниковых данных на примере Приволжского федерального округа // Труды ГМЦ, 2014, Вып. 351, с. 85–107.
2. Береза О.В., Страшная А.И., Лупян Е.А. О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015, т. 12. № 1. с. 20–35.
3. Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур. // Труды ГМЦ, 2016, Вып. 360, с. 45–78.

4. И.А. Шульгин, Р.М. Вильфанд, О.В. Береза, А.И. Страшная. Солнечная радиация в сумерки как физиологически активный фактор регуляции скорости развития яровых зерновых культур. // Известия ТСХА, 2017, № 1, с. 56-74.

*Содержание диссертации также отражено в следующих работах:*

5. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. (Береза О.В.) Об изменении агроклиматических условий вегетации и сроков сева озимых культур осенью в Центральном федеральном округе в связи с потеплением климата. // Труды ГМЦ, 2009, вып.343, с.141–158.
6. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Богомолова Н.А., Чуб О.В. (Береза О.В.) Об агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства в период уборки и осенней вегетации озимых зерновых культур в условиях потепления климата. // Труды ВНИИСХМ, 2010, Вып.37, с.42–67.
7. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. (Береза О.В.) Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет. // Труды ГМЦ, 2011, Вып. 345, с. 194–214.
8. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. (Береза О.В.) О сроках сева озимых культур в условиях изменения климата и их прогнозирование в Приволжском федеральном округе. // Труды ГМЦ, 2011, Вып. 345, с.175–193.
9. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. (Береза О.В.) Оперативное агрометеорологическое обеспечение аграрного сектора экономики России в современных условиях. В сб.: «Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата» // Обнинск, ВНИИСХМ, 2012 г., с.
10. Чуб О.В. (Береза О.В.), Страшная А.И. О возможности использования агрометеорологического коэффициента увлажнения для мониторинга атмосферно–почвенных засух // Труды Гидрометцентра РФ. Гидрометеорологические прогнозы – 2012. Вып.347.- С.190-206.

11. Страшная А.И., Пурина И.Э., Чуб О.В. (Береза О.В.), Задорнова О.И., Чекулаева Т.С. Автоматизированная технология мониторинга и расчёта количества декад с почвенной и атмосферно–почвенной засухой под зерновыми культурами. // Труды ГМЦ, 2013, Вып. 349, с. 161–176.
12. Клещенко А.Д., Страшная А.И., Вирченко О.В., Хомякова Т.В., Чуб О.В. (Береза О.В.) Оперативный агрометеорологический мониторинг засух на территории Российской Федерации в условиях глобального изменения климата. В сб.: «Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата» // Труды ВНИИСХМ, 2013, Вып. 38, с.87–109.
13. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. Солнечная радиация и агрометеорологическая оценка состояния посевов сельскохозяйственных культур и их урожайности. В сб.: «Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий» // Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 2015, с. 603.
14. Береза О.В., Страшная А.И., Барталев С.А. Возможности расчётов количественной оценки состояния озимых зерновых культур в период прекращения вегетации в Центральном федеральном округе России на основе комплексирования наземных и спутниковых данных. Тезисы докладов Четырнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» // 2016 г.  
*[http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5957](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5957)*

## **Внедрение**

При выполнении настоящей работы были подготовлены два методических пособия:

1. «Методическое пособие по составлению прогноза оптимальных сроков сева озимых зерновых культур по Центральному и Приволжскому федеральным округам» (в соавторстве). Пособие разослано в сетевые организации Росгидромета

и используется ими, а также в Гидрометцентре России в практической работе по оперативному агрометеорологическому обеспечению сельского хозяйства.

2. Методическое пособие «Оценка состояния посевов озимых зерновых культур (площади с плохим состоянием посевов) ко времени прекращения вегетации по территории Российской Федерации на основе комплексирования наземных и спутниковых данных» (основной автор), которое в соответствии с «Планом испытаний и внедрения новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов» на 2017 г., направлено сетевым организациям Росгидромета на испытание.

Осенью 2016 и 2017 гг. новая методика оценки состояния озимых культур использовалась в Гидрометцентре России, а в 2017 году и в ряде сетевых организаций Росгидромета для подготовки аналитических докладов в органы государственной власти и управления АПК.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы (231 наименование, включая 12 интернет–ресурсов). Основной материал изложен на 163 страницах, включая 43 рисунка и 18 таблиц.

### **Краткое содержание работы**

**Во Введении** показана актуальность проблемы мониторинга состояния озимых зерновых культур осенью и необходимость количественной оценки состояния их для учёта в прогнозах перезимовки и при прогнозировании валовых сборов этих культур.

**В первой главе** рассмотрены условия тепло- и влагообеспеченности озимых в различных районах их возделывания в связи с особенностями жизненного цикла растений, показана роль озимых как основы зернового баланса страны. Анализируются системы мониторинга состояния озимых культур в Российской Федерации и приводится краткий обзор зарубежных систем дистанционного мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур.

**Во второй главе** исследуются агроклиматические условия возделывания озимых зерновых культур в течение всего их жизненного цикла (условия сева и осенней вегетации, зимовки и весенне – летнего периода) в изменившихся погодно –

климатических условиях. Показана значимость агрометеорологических условий этих периодов, особенно засух, для оценки их состояния и формирования урожая.

**В третьей главе** приведены результаты анализа продолжительности осеннего периода вегетации озимых зерновых культур в изменившихся агроклиматических условиях и рассчитаны средние многолетние сроки сева, обеспечивающие к концу вегетации 3–4 побега кушения озимых. Изложен новый метод расчёта оптимальных сроков сева озимых для конкретных лет, в том числе аномальных.

**В четвёртой главе** излагаются основы впервые разработанной методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации (площади с плохим состоянием посевов) с использованием наземной и спутниковой информации. В связи с большим различием в структуре посевных площадей, разнообразием природно – климатических условий территорий, регрессионные модели для расчёта площади с плохим состоянием озимых культур разработаны по областям (группам областей) для Приволжского, Центрального, Южного, Северо–Кавказского, Уральского федеральных округов и озимосеющих районов Западной Сибири. Приведены результаты проверки моделей на зависимых (2003–2015 гг.) и независимых (2016 и 2017 гг.) материалах наблюдений.

### **Благодарности**

Автор выражает глубокую благодарность Александру Дмитриевичу Клещенко, доктору географических наук, профессору за научное руководство и внимание к работе.

Автор благодарит за многолетнее научное сотрудничество и большую консультативную помощь Анну Ильиничну Страшную, кандидата географических наук, ведущего научного сотрудника ФГБУ «Гидрометцентр России», Игоря Александровича Шульгина, доктора биологических наук, профессора кафедры метеорологии и климатологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автор выражает искреннюю признательность своим коллегам по отделу (Т.А. Максименковой, Л.И. Полосухиной, Н.В. Коренковой, Т.В. Кулаковой), помогавшим в сборе и обработке информации.



# **Глава 1. Состояние проблемы мониторинга озимых зерновых культур в оперативном агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства России**

## **1.1. Озимые зерновые культуры – основа зернового баланса страны**

Среди полевых культур в мировом земледелии наибольшее значение имеют зерновые культуры, основным продуктом которых является зерно. Хлеб – основной продукт питания человека, зерно – концентрированный корм для сельскохозяйственных животных и сырье для многих отраслей промышленности. Посевная площадь под зерновыми культурами в мире составляет примерно 650 млн. га, т.е. 45 % всей обрабатываемой в мире площади. В отдельных странах эта доля значительно больше. Например, в России, Великобритании, во Франции, в Италии, США зерновые культуры занимают от 50 до 60 % всех посевных площадей; в Польше, Венгрии, Румынии – от 60 до 65, в ФРГ – около 70, во Вьетнаме – 80, а в Японии – более 90 %. Наибольшую посевную площадь занимают три главные зерновые культуры: пшеница (215 млн. га), рис (155 млн. га) и кукуруза (140 млн. га). Соответственно и доля их в посевах зерновых самая большая. Пшеница – самая распространённая сельскохозяйственная культура в мире. Ареал её возделывания охватывает пять континентов. В северном пшеничном поясе наибольшие посевные площади пшеницы расположены в России, Китае, США, Канаде, Казахстане, Украине. Южный пшеничный пояс состоит из трёх отдельных ареалов – Аргентина, Южная Африка и Австралия [Максаковский, 2008].

Пшеница – самая древняя и распространенная культура, она была известна свыше 6,5 тыс. лет до н.э. в Ираке и 5 – 6 тыс. лет до н.э. в Древнем Египте [Вавилов, 1957, 1965; Якубцинер, 1961, 1966, 1969; Якубцинер, Руденко и др., 1964; Дорофеев, Якубцинер и др., 1976].

Из всех хлебных злаков именно озимые хлеба дают более высокий урожай зерна, чем яровые зерновые культуры – это связано с их биологическими преимуществами [Вавилов и др., 1986; Куперман, 1955, 1969; Уланова, 1975;]. Озимые культуры способны накопить больше растительной массы за более длительный период вегетации, успевают до зимы развить мощную корневую систему и хорошо раскуститься. Закалившиеся озимые способны переносить

суровые условия зимовки. Перезимовавшие растения весной быстро трогаются в рост. Образовавшиеся узловые корни и раскустившаяся надземная масса обуславливают их более раннее (на 30 – 40 дней) начало активной вегетации весной и соответственно более раннее созревание [Трунова, 1965; Туманов, 1979; Свисюк, 1980; Моисейчик, Шавкунова, 1986].

Озимые культуры при хорошем развитии с осени лучше, чем яровые, используют весенние запасы влаги и питательных веществ в почве. Весной они быстро наращивают уже имеющуюся вегетативную массу и меньше страдают от весенних засух. Более раннее созревание озимых ограждает их также от суховеев. Озимую пшеницу убирают на 8 – 10 дней, а озимый ячмень – на 10 – 12 дней раньше яровых форм.

Помимо биологических особенностей, возделывание озимых имеет и существенные организационно-хозяйственные преимущества перед яровыми культурами. Осенний сев и ранняя уборка их летом минимизируют напряжённость посевных и уборочных работ, делают возможным лущение и вспашку полей под зябь. После уборки озимых имеется достаточный период времени для выращивания на той же площади дополнительного урожая пожнивных культур.

Озимые культуры имеют важное значение в увеличении производства зерна в нашей стране. В 2015 году, например, при общей посевной площади зерновых и зернобобовых культур 46,6 млн. га, площадь возделывания озимых культур составила 15,4 млн. га, из них озимой пшеницы 13,3 млн. га, ржи 1,3 млн. га, тритикале – 0,235 млн. га, ячменя 0,530 млн. га.

На долю озимых культур (пшеница, рожь, тритикале, ячмень) приходится до 45 – 46 % всего валового сбора зерна в стране. На рис. 1 показан вклад каждой из составляющих культур в общий валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в 2016 году. Можно видеть, что среди возделываемых в стране озимых зерновых культур, наибольший вклад в зерновой баланс страны вносит озимая пшеница (более 40 % валового сбора).

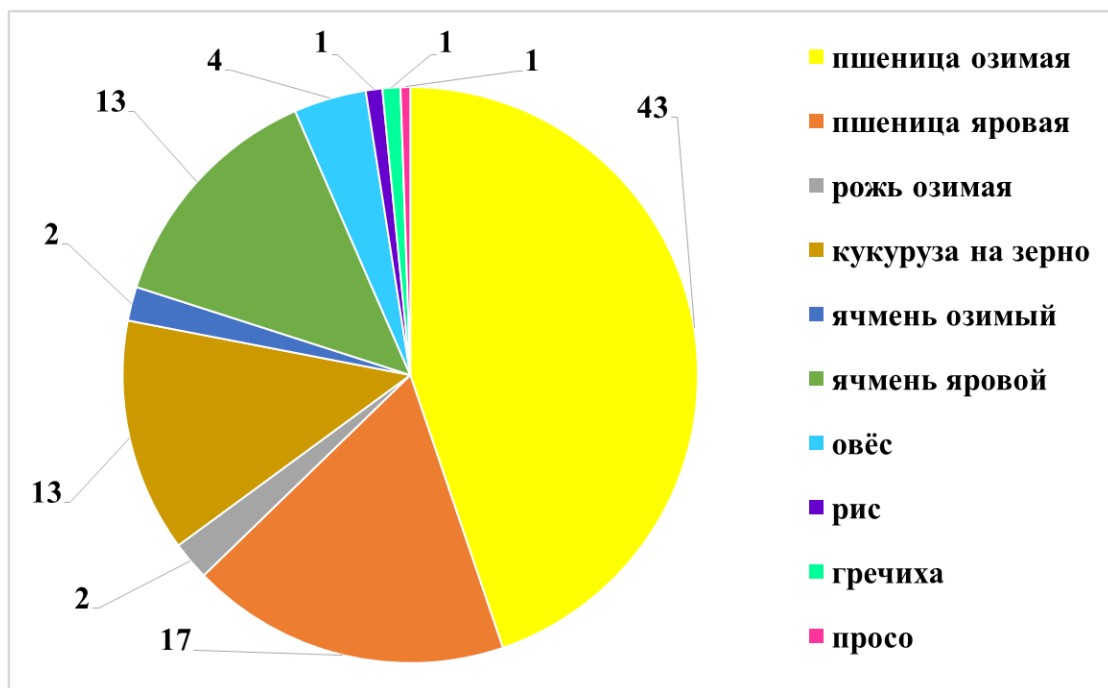


Рис. 1. – Удельный вес основных зерновых культур в общем валовом сборе зерновых и зернобобовых культур (%) по Российской Федерации (по данным на 2016 год).

Озимую пшеницу выращивают на всей территории страны, от южных районов Вологодской области до южных границ страны. Наиболее благоприятны для возделывания озимой пшеницы южная половина Европейской части страны, т.е. районы с плодородными чернозёмными почвами [Пруцков, 1970]. Самую большую площадь в России эта культура занимает на Северном Кавказе (почти 50% посевной площади озимой пшеницы). Большую площадь озимая пшеница занимает также в центральных чернозёмных областях. В Нечернозёмной зоне на значительной площади эта культура возделывается в Орловской, Рязанской, Брянской, Калужской, Тульской областях. В лесостепных и степных районах Западной Сибири озимая пшеница возделывалась на небольших площадях, в настоящее время при «потеплении зим» площадь возделывания увеличилась. В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке озимые практически не возделываются [Strashnaya, Maksimenkova, Chub (Бережа), 2010].

Неблагоприятные агрометеорологические условия для озимой пшеницы часто наблюдаются в заволжских районах Среднего Поволжья, Волгоградской области, на крайнем юго–востоке центральных чернозёмных областей.

Селекционерами России создано большое количество ценных сортов озимой пшеницы, не имеющих себе равных по зимостойкости, засухоустойчивости, мукомольным и хлебопекарным свойствам. Наибольшее распространение получили такие сорта, как Мироновская 808, Московская 39, Безенчукская 380, Саратовская 90, Тарасовская 29. Средняя урожайность озимой пшеницы составляет 26 ц/га, а возделываемой по интенсивным технологиям в передовых хозяйствах 50–60 ц/га и более (Краснодарский край) [Ремесло, Куперман и др., 1982], в передовых хозяйствах 60 ц/га и более.

Большое значение озимой пшеницы в народном хозяйстве нашей страны нашло отражение в увеличении её посевной площади. Если в 80–90-е годы прошлого столетия озимой пшеницей было занято 6–8 млн. га, то с 2000-х годов посевная площадь под озимой пшеницей увеличивалась и в 2015 году она составила 13,4 млн. га. За последние годы возросли и валовые сборы озимой пшеницы, что в значительной степени обусловлено внедрением высокоурожайных сортов озимой пшеницы и повышением уровня агротехники.

На рис. 2 показана динамика посевной площади, валового сбора и урожайности озимой пшеницы по Российской Федерации за 1991–2015 гг.

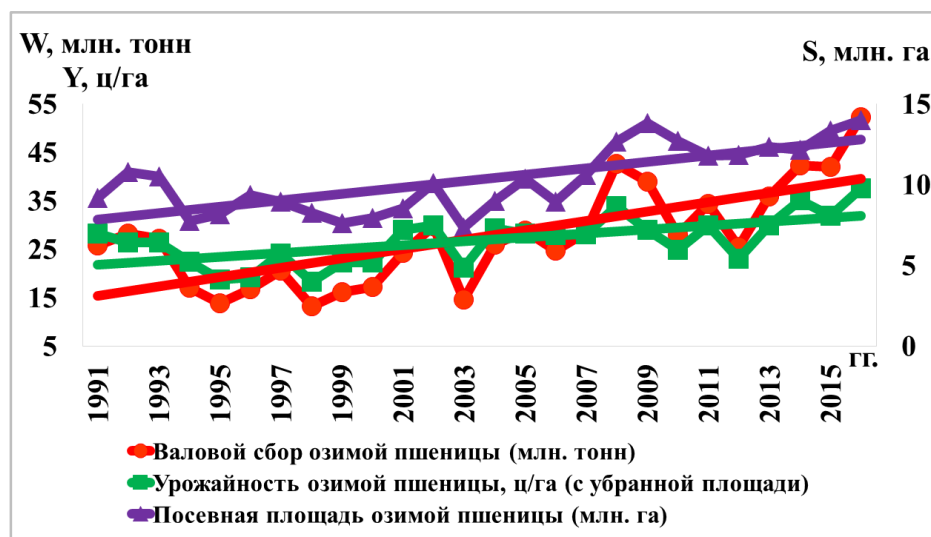


Рис. 2. – Динамика валового сбора, урожайности и посевной площади озимой пшеницы в Российской Федерации и линии трендов за период 1991–2015 гг.

Можно констатировать, что за период с 1991 по 2015 гг. наблюдается значительное увеличение посевной площади под озимой пшеницей, растет её

урожайность, и, соответственно, увеличивается валовой сбор зерна.

Как уже отмечалось выше, основные посевы озимой пшеницы сосредоточены в районах плодородных чернозёмных почв, богатых питательными веществами. Колебания урожайности озимой пшеницы по годам в этих районах связаны в основном с колебаниями режима увлажнения и условий перезимовки в разные годы. В благоприятные по термическому и влажностному режимам годы средняя урожайность озимой пшеницы в отдельных субъектах бывает высокой и может достигать 45–57 ц/га, а в неблагоприятные годы, когда наблюдается дефицит осадков и повышенный термический режим, урожайность её снижается до 6–10 ц/га.

В качестве примера на рис. 3 по отдельным областям, где наиболее выражена вариативность урожайности озимой пшеницы, показана динамика фактической урожайности (в ц/га) за период с 1991 по 2015 гг. и линии трендов урожайности, характеризующих её изменение в основном за счёт культуры земледелия.

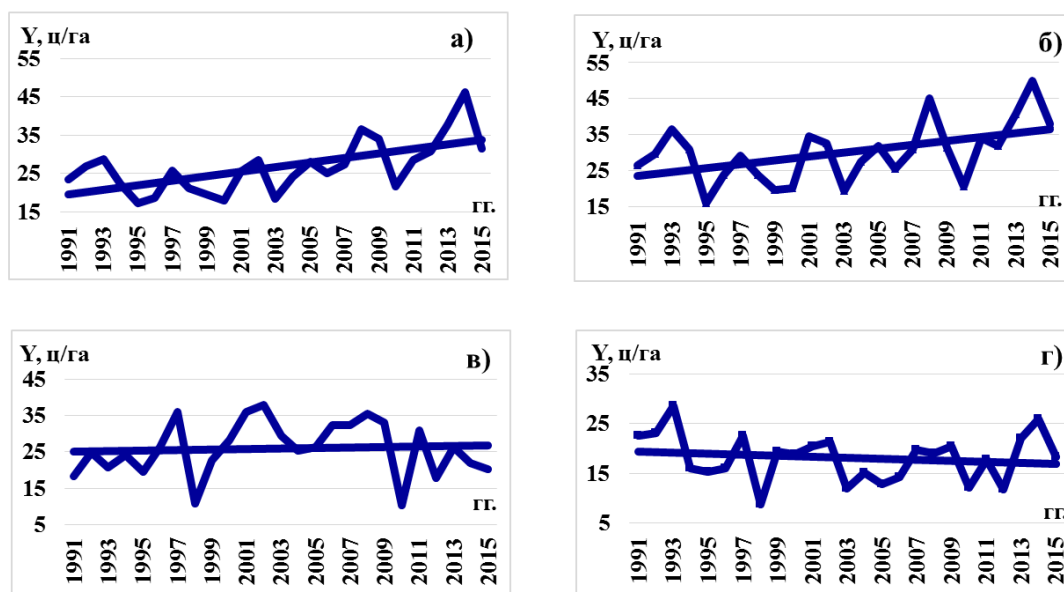


Рис. 3. – Динамика урожайности озимой пшеницы (ц/га) с убранной площади по Курской (а), Белгородской (б) областям, Республике Татарстан (в) и Самарской области (г) за период с 1991 по 2015 гг.

Можно отметить значительный рост урожайности озимой пшеницы за этот период в связи с повышением культуры земледелия и введением новых высокоурожайных сортов, например, в Курской и Белгородской областях (а, б) и сильные колебания по годам в связи с различными аномальными метеорологическими

условиями в Республике Татарстан и Самарской области (в, г). В Курской, Белгородской областях фактическая урожайность озимой пшеницы за этот период увеличилась на 14 и 13 ц/га соответственно, т.е. ежегодно она повышалась в среднем на 0,56-0,52 ц/га, в Республике Татарстан роста урожайности практически не наблюдалось (увеличение всего на 1,7 ц/га), а в Самарской области отмечается даже некоторое снижение урожайности (от 19,4 ц/га в начале периода до 17,0 ц/га в конце).

В Таблице 1 представлена урожайность озимой пшеницы (ц/га) по рассчитанным нами трендам за период с 1991 по 2015 годы и пределы фактической урожайности по отдельным субъектам и России в целом.

Как видно из Таблицы, особенно большой рост урожайности отмечался в районах с наиболее благоприятными условиями формирования урожайности озимой пшеницы и высокой культурой земледелия (Краснодарский и Ставропольский края, Курская, Белгородская, Липецкая области), где увеличение от начала к концу периода в среднем (по тренду) составило от 10,0 до 19,5 ц/га. В то же время в районах, где за указанный период отмечались неблагоприятные агрометеорологические условия, например, в Оренбургской, Саратовской, Самарской, Ульяновской областях увеличения урожайности озимой пшеницы за счет роста культуры земледелия на фоне часто повторяющихся засушливых условий не наблюдалось, а, напротив, она несколько понизилась. В целом по Российской Федерации за указанный период урожайность озимой пшеницы увеличилась на 8,4 ц/га.

Таблица 1 Изменение урожайности озимой пшеницы (ц/га) за счёт культуры земледелия и пределы фактической урожайности за период 1991–2015 гг.

Территория	Урожайность по тренду, ц/га			Фактическая урожайность, ц/га (с посевной площади)					
	На начало периода	На конец периода	Увеличение (уменьшение) за период	Максимальная за период	Год	Минимальная за период	Год	Разность	Средняя за период
<i>Российская Федерация</i>	22,2	30,6	8,4	35,1	2014	18,3	1998	16,8	25,5
Белгородская область	23,5	36,5	13,0	49,9	2014	16,0	1995	33,9	29,7
Воронежская	21,8	28,7	6,9	38,8	2014	15,4	2010	23,4	24,4
Тамбовская	20,6	28,2	7,6	35,9	2014	10,6	1995	25,3	23,9
Курская	19,6	33,7	14,1	46,1	2014	17,3	1995	28,8	26,1
Липецкая	22,5	32,5	10,0	41,8	2008	13,6	1995	28,2	26,6
Самарская	19,4	17,0	-2,4	28,6	1993	8,7	1998	19,9	16,9
Саратовская	17,2	16,2	-1,0	23,5	1997	7,7	1995	15,8	16,3
Оренбургская	15,6	13,7	-1,9	22,0	1993	6,1	1998	15,9	14,1
Пензенская	15,4	19,9	4,5	29,3	2014	9,6	1995	19,7	17,0
Ульяновская	20,9	18,9	-2,0	28,4	1991	9,8	2010	18,6	18,7
Республика Татарстан	25,0	26,7	1,7	37,9	2002	10,3	2010	27,6	24,9
Астраханская область	8,0	17,5	9,5	26,9	2015	5,2	2003	21,7	11,5
Ростовская область	24,4	29,2	4,8	35,9	2004	18,5	1995	17,4	25,9
Волгоградская	18,0	21,8	3,8	28,6	2008	9,3	1995	19,3	19,2
Краснодарский край	33,3	52,8	19,5	57,6	2015	28,9	1996	28,7	42,3
Ставропольский	24,9	36,0	11,1	39,5	2015	21,8	1996	17,7	29,9

Второй по значимости вклада в валовой сбор озимых культур в нашей стране является озимая рожь.

Озимая рожь – более молодое хлебное растение по сравнению с пшеницей, ячменем и другими зерновыми культурами. Возделывание озимой ржи в качестве культурного растения, по данным археологии, началось уже в прошлой эре. Древние цивилизации Египта, Индии, Китая, Греции не знали рожь как культурное растение. В бассейнах рек Днепра, Днестра, Оки славяне выращивали рожь в первой половине первого тысячелетия новой эры. Примерно к этим временам относятся и первые печатные сведения о ржи. Раскопки в Старой Ладогe показали, что в Северной Руси рожь выращивали в VI в. н. э. [Антропова, Луке, 1954; Антропова, 1960]. Возделывание ржи производилось восточными славянами в IX в., то есть в периоды возникновения русского государства [Жуковский, 1950]. Имеется немало находок, указывающих на культивирование озимой ржи славянскими народами в средние века. Но первые письменные указания о посевах озимой ржи на территории русского государства имеются в летописи Нестора (1056–1115 гг.). Следовательно, «возраст» ржи как культурного растения менее одного тысячелетия [Вавилов, 1965; Антропова, Луке, 1954; Жуковский, 1950].

Рожь относится к важнейшим хлебным культурам, особенно в районах с ограниченным возделыванием пшеницы. По вкусовым качествам, перевариваемости и усвояемости ржаной хлеб уступает только пшеничному. Кроме выпечки хлеба, рожь используют как концентрированный корм для домашнего скота, а также для выработки спирта, крахмала и солода.

Озимая рожь отличается большой кустистостью (одно зерно даёт три-восемь стеблей) и быстрым ростом, она подавляет развитие сорных растений (даже осота и овсюга). Её ценят как сороочищающую культуру и как хороший предшественник для пропашных и яровых культур.

Озимая рожь менее требовательна к почве и меньше страдает от повышенной кислотности, чем озимая и яровая пшеница. Но более высокие урожаи даёт на плодородных, хорошо аэрируемых почвах лёгкого механического состава. К теплу предъявляет умеренные требования, очень чувствительна к высоким температурам во время цветения – снижается образование завязи зерна, что приводит к



значительной череззернице; высокая температура в фазу налива вызывает щуплость зерна. Среди озимых культур озимая рожь имеет самую высокую зимостойкость, а из всех зерновых культур озимая рожь является наиболее пластичной по отношению к погодным условиям, хотя и наименее урожайной, что в значительной мере объясняется сравнительно низкой культурой её возделывания [Тиунов и др., 1969; Петькова, 1976].

В XX веке озимая рожь была главной по значимости хлебной культурой России. Её посевы стабильно удерживались на уровне 25–27 млн. га и составляли 50–55 % от мировых. Постепенно посевы ржи сокращались, а озимой пшеницы увеличивались. Происходил этот процесс медленно, даже в послевоенные 1950-е годы рожь занимала 12–14 млн. га и превышала площадь озимой пшеницы более чем в два раза. Лишь в конце 1960-х годов посевы пшеницы стали устойчиво преобладать над посевами ржи. Главной причиной ускорения такой подвижки культур явилось создание высокоурожайных сортов озимой пшеницы Безостая 1 и Мироновская 808, которые на высоком агрофоне давали более высокие урожаи, чем рожь. Последняя из-за сильной полегаемости возделываемых сортов не смогла противостоять мощному «пшеничному цунами», вызванному этими двумя сортами-шедеврами. На зерновом поле России произошла своего рода «революция культур», в результате которой рожь уступила первенство пшенице. Этот неоспоримый факт служит убедительным доказательством того, каким мощным потенциалом обладает сегодня селекция. Однако, несмотря на небольшой удельный вес в валовом сборе зерна, рожь до сих пор остается в числе важнейших зерновых культур мира [Гончаренко, 2012].

На рис. 4 показана динамика посевных площадей, валового сбора и урожайности озимой ржи по России в целом за период 1991–2015 гг.

Как видно на графике, в последние десятилетия посевная площадь и валовой сбор озимой ржи имели неуклонную тенденцию сокращения. При этом посевная площадь озимой ржи в стране за 25 лет колебалась от 6,5 до 1,3 млн. га, а объёмы её производства – от 10,6 до 2,1 млн. тонн за период с 1991 по 2015 гг. В последнее десятилетие (2006–2015 гг.) на долю посевов озимой ржи в структуре посевных

площадей зерновых и зернобобовых культур приходится всего 2,8 %, а в производстве зерна её удельный вес составляет 2 %.

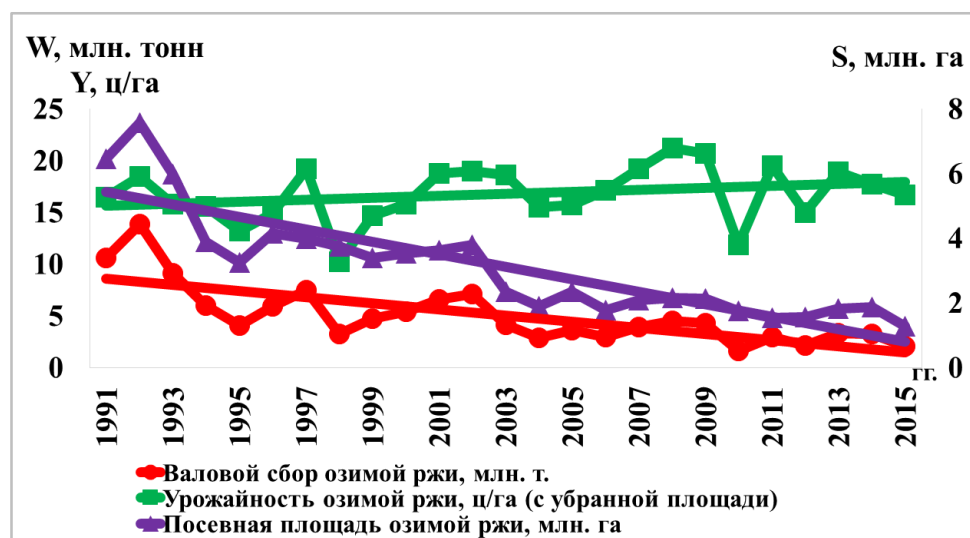


Рис. 4. – Динамика валового сбора, урожайности и посевной площади озимой ржи в Российской Федерации и линии трендов за период 1991–2015 гг.

До конца 90–х годов прошлого века наибольшая площадь посевов озимой ржи в нашей стране была сосредоточена в Центральном, Волго–Вятском, Приволжском и Уральском регионах. В современной России самым крупным ржаносеющим регионом России является Приволжский федеральный округ. Если в целом по России производство зерна ржи в 2015 г. составило 2,1 млн. тонн, то по Приволжскому федеральному округу – 1,5 млн. тонн, или 71 % от общего валового сбора озимой ржи. Урожайность озимой ржи по Российской Федерации составила 16,7 ц/га, в Приволжском федеральном округе 16,2 ц/га.

В последнее время наблюдается изменение в структуре посевной площади озимой ржи в Российской Федерации. В результате сокращения посевов этой культуры сегодня можно обозначить лишь восемь субъектов, производящих более 60 тыс. т зерна озимой ржи в год (Таблица 2).

Основными производителями зерна озимой ржи в Российской Федерации являются Республики Башкортостан, Татарстан и Оренбургская область, в этих субъектах располагаются наибольшие посевные площади озимой ржи. Рост урожайности озимой ржи в последние годы наблюдается в областях Нечернозёмной

зоны. Существенное снижение урожайности озимой ржи за исследуемый нами период отмечалось в Республике Башкортостан, Самарской, Оренбургской областях.

Таблица 2. Субъекты Российской Федерации, производящие более 60 тыс. тонн зерна озимой ржи в год (по данным на 2015 г.)

Территория	Посевная площадь озимой ржи		Валовой сбор озимой ржи	
	тыс. га	доля в структуре, %	тыс. тонн	доля в валовом сборе, %
Республика Башкортостан	261,8	21	454,9	22
Республика Татарстан	128,4	10	395,0	19
Оренбургская область	133,5	10,3	130,6	6,3
Кировская	70,7	5,5	117,5	6,0
Саратовская	76,5	6,0	96,1	5,0
Брянская	38,0	2,9	72,9	3,5
Волгоградская	64,5	5,0	62,5	2,9
Алтайский край	30,1	2,3	63,3	3,0
Российская Федерация	1290,0		2086,2	

На рис. 5 для примера приведена динамика урожайности озимой ржи (с убранной площади) и линии трендов по Оренбургской (а) и Самарской (б) областям, где наблюдалось наиболее значительное снижение урожайности озимой ржи за период с 1991 по 2015 гг.

Как нами отмечено выше, в рамках Доктрины продовольственной безопасности, ставится задача увеличить годовое производство зерна до 130 млн. тонн. Вклад озимой ржи в это увеличение не обозначен, не обозначены и экономические стимулы по увеличению производства этой культуры. Низкий удельный вес озимой ржи в валовых сборах зерна в стране говорит о недостаточном уровне селекции этой культуры, а также о неэффективном использовании почвенно-климатических ресурсов.

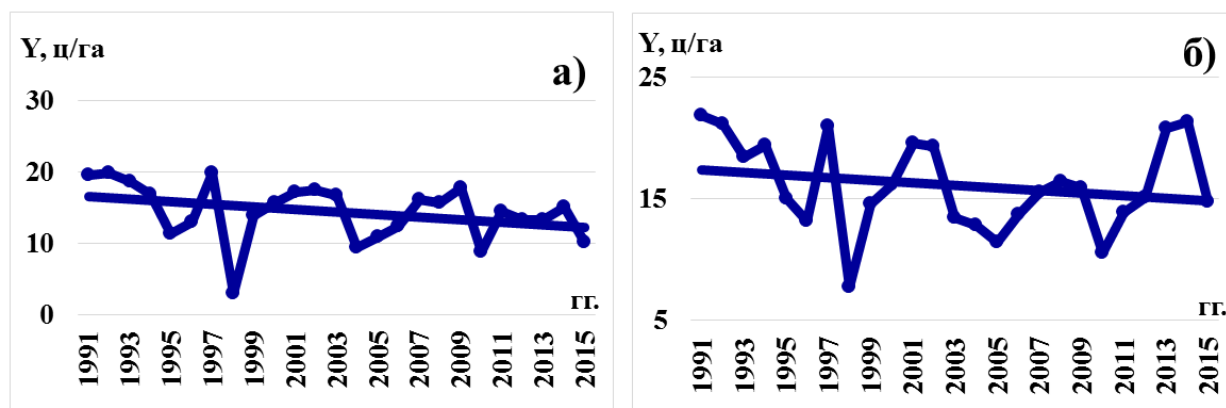


Рис. 5. – Динамка урожайности озимой ржи (ц/га) с убранной площади по Оренбургской (а) и Самарской (б) областям и линии трендов за период с 1991 по 2015 гг.

*Озимый ячмень*, как пшеница и рожь, относятся к древним зерновым культурам.

В мировой классификации – ячмень кормовая культура. Однако он широко используется для продовольственных и технических целей, является основным сырьём для пивоваренной промышленности. Из зёрен ячменя вырабатывают перловую и ячневую крупы, толокно, ячменную муку, добавляемую при выпечке специальных сортов хлеба. В больших объёмах ячмень используется как ценный концентрированный корм для животноводства [Гордеев, Бутковский, 2009].

Ячмень имеет яровые и озимые формы. В нашей стране, как и во всём мире, наиболее распространён яровой ячмень, несмотря на то, что озимый ячмень имеет более высокую урожайность. Возделывается озимый ячмень в основном на Северном Кавказе и в Крыму. Широкое распространение озимого ячменя ограничено условиями перезимовки, так как в отличие от озимой пшеницы и ржи он неустойчив к низким температурам воздуха и почвы [Трофимовская, 1972].

В целом по России площадь посевов озимого ячменя в 2016 гг. составила 543,7 тыс. га, урожайность 39,8 ц/га, валовой сбор зерна – 2,2 млн. тонн.

Динамика валового сбора и урожайности озимого ячменя в целом по Российской Федерации за период с 1997 по 2015 гг. представлена на рис. 6.

Можно видеть значительные колебания урожайности озимого ячменя, и, соответственно, валового сбора зерна. Тенденция роста урожайности,

характеризующая рост культуры земледелия, выражена в несколько большей степени, чем валового сбора. В среднем урожайность озимого ячменя от начала периода (31,0 ц/га) увеличивалась, и в конце периода составила 39,5 ц/га, а валовой сбор зерна увеличился от 1,6 млн. тонн до 1,9 млн. тонн.

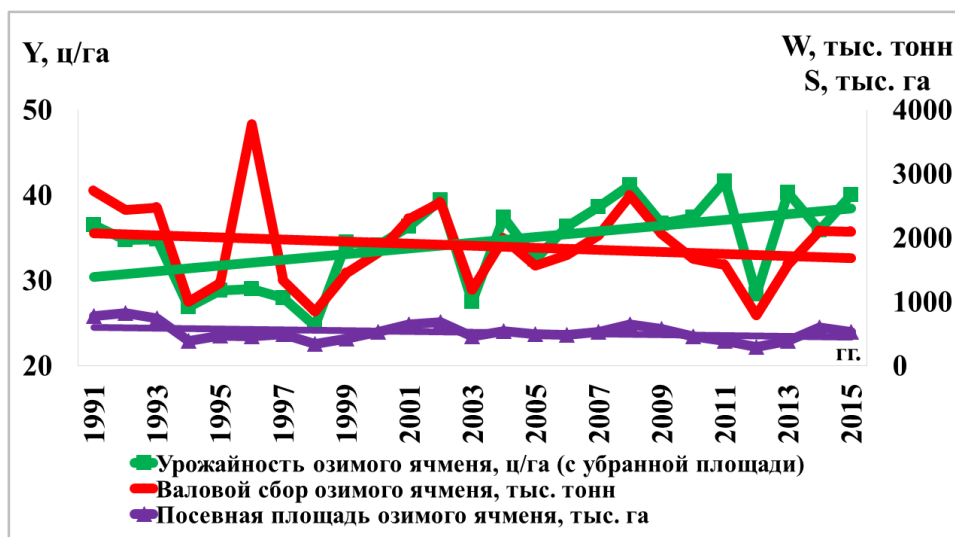


Рис. 6. – Динамика валового сбора, урожайности и посевной площади озимого ячменя в Российской Федерации и линии трендов за период 1991–2015 гг.

*Тритикале* – пшенично-ржаной гибрид, полученный в результате скрещивания озимой пшеницы и ржи. Сочетает в себе положительные биологические качества пшеницы и ржи и является перспективной культурой для получения хлебопекарной муки, крахмала, производства комбикормов. Тритикале имеет озимые (преобладающие посевы в нашей стране) и яровые формы. Возделывается преимущественно в Центральном, Приволжском и Южном федеральных округах. Посевная площадь, занимаемая этой культурой, незначительна. В целом по России за 2014–2015 гг. посевная площадь составила около 240 тыс. га. Урожайность озимой тритикале высокая – в среднем за два последних года она составила 25,8 ц/га, а валовой сбор около 0,650 млн. тонн.

Большинство сортов и гибридов озимой тритикале обладают хорошей зимостойкостью (близкой к озимой ржи), повышенным содержанием белка и незаменимых аминокислот; по содержанию макро – и микроэлементов они не

уступают зерну пшеницы, поэтому имеют большое значение при изготовлении диетического хлеба [Гордеев, Бутковский, 2009].

Таким образом, как следует из вышесказанного, учитывая важнейшую роль озимой пшеницы в зерновом хозяйстве России, мы в своей работе уделили этой культуре большее внимание.

## **1.2. Гидротермический и радиационный режимы как факторы развития озимых культур**

За период жизни растения озимых зерновых культур проходят несколько фаз роста и развития, или фенологических фаз. Каждая фаза характеризуется количественными и качественными изменениями в состоянии морфологических признаков.

В процессе индивидуального развития зерновые культуры проходят ряд этапов органогенеза, каждый из которых характеризуется образованием новых органов, а также изменением в строении одних и тех же органов. В жизненном цикле этих, как и других видов растений, установлено 12 этапов органогенеза [Куперман и др., 1955].

У зерновых хлебов различают следующие фенологические фазы: прорастание семян, всходы, кущение, выход в трубку, колошение (или выметывание), цветение и созревание. Началом фазы считается такой день, когда в нее вступает не менее 10 % растений; полная фаза отмечается при наличии соответствующих признаков у 75 % учетных растений.

Ростовые процессы у озимых культур проходят в течение двух жизненных циклов, разграниченных в умеренных и северных широтах длительным периодом (от 3 до 7 месяцев), в течение которого растения находятся в состоянии вынужденного покоя, вызванного неблагоприятными условиями для нормального роста и развития [Моисейчик, 1971, 1975; Уланова, 1965, 1967; Полевой, 1992].

Сроки сева озимых культур зависят от климатических особенностей отдельного региона. В северных регионах сев производят в августе, на юге – в сентябре или октябре. При запоздалом посеве озимые культуры до наступления морозов не успевают развить мощную корневую систему и подготовиться к

зимовке. Было установлено [ШигOLEV, 1951, 1957; Моисейчик, 1971, 1975; Федосеев, 1979], что для нормального развития и укоренения культур необходимо около 45–60 дней с температурой воздуха более 5 °C.

Причины гибели и повреждения озимых могут быть вызваны осенней засухой и слабой закалкой поздних всходов, сильными морозами в малоснежные зимы (вымерзание), резкими колебаниями температуры воздуха, высоким снежным покровом, долго не тающим весной (выпревание), застоем на поверхности почвы воды (вымокание), ледяными корками, выпиранием и разрывом узлов кущения на тяжелых почвах, механическими повреждениями, грибными болезнями.

Весеннее отрастание поврежденных растений во многом зависит от характера погоды весной. Если весна влажная и прохладная, то поврежденные растения образуют новые корни и стебли, и в дальнейшем нормально развиваются. В годы же с сухой, жаркой весной поврежденные растения постепенно отмирают, не доходя до колошения.

Из погодных условий весенне-летнего периода вегетации озимых культур наиболее важны увлажнение апреля–июня, когда наблюдается интенсивный рост растений (от выхода в трубку до колошения) и температурный режим в фазах колошение-созревание.

Основными предупредительными мерами борьбы против гибели озимых являются оптимальные сроки сева, способствующие хорошему укоренению и кущению; хорошая заправка почвы органическими и минеральными удобрениями; снегозадержание в районах, где снега выпадает мало; ранневесенняя подкормка минеральными удобрениями.

Известно, что на рост, развитие растений, урожай, его качество в разной степени влияет весь комплекс факторов внешней среды [Тимирязев, 1906; 1948; Максимов, 1952; ШигOLEV, 1951; ВеригO, 1957; ВеригO, Разумова, 1973; Кулик, 1964; Коровин и др., 1977; Коровин, 1984; Грудева, 1966; Моисейчик, 1956, 1968, 1975; Свисюк, 1980; Уланова, 1965, 1982; Шульгин А., 1972, 1978; Кошкин, 2010], складывающийся из водного, теплового, радиационного режимов, а также условий питания растений. При этом ни один из них не может быть заменен другим, по

своему физиологическому действию они все имеют равное значение для жизни растений.

Растения и среда их обитания находятся в сложном и динамичном взаимодействии, интенсивность и характер которого постоянно меняются в зависимости от сезона года, складывающихся метеорологических условий, биологических особенностей и фазы развития растений. На это взаимодействие серьезное влияние оказывают агротехнические мероприятия, такие как полив, прополка, рыхление почвы, внесение удобрений или ядохимикатов для подавления популяций сельскохозяйственных вредителей и т.п. При этом нельзя забывать, что экологические факторы действуют на растения и протекающие в них процессы не в отдельности, а комплексно. Например, интенсивность фотосинтеза растений зависит не только от биологических особенностей самих растений, но и в значительной мере от ряда условий. К таким условиям относятся: интенсивность ФАР, поступающей на растительный покров, степень затененности растений (густота стояния растений на единице площади), характер облачности (высота, плотность), скорость ветра, запасы влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы и др.

Растения реагируют на изменения внешних условий путем перестройки биологических процессов на разных уровнях их организаций. Например, на рост и развитие растений оказывает влияние даже слабый дефицит почвенной влаги. Обезвоживание тканей растения, а также повышенная температура среды (приземный слой воздуха и почвы) воздействуют на микроструктуру клеток и их органоиды, в которых содержится не менее 20 % воды от их сухой массы. При высокой температуре воздуха происходит перегрев тканей листьев и корней, в результате которого закрываются устьица на вегетирующих частях растений с целью сохранения водного баланса растения. Это способствует снижению уровня транспирации растений, падению интенсивности фотосинтеза, которая находится в большой зависимости и от степени увлажненности почвы. В условиях продолжительной засухи развивается депрессия фотосинтеза и возрастает доля затрат энергии на дыхание [Кулик, 1952; Максимов, 1952; Кошкин, 2010; Шульгин, 2004]. В итоге происходит снижение продуктивности растения, а в экстремальных условиях и его полная гибель.



### ***Гидротермический режим.***

Температура воздуха, количество осадков и влажность почвы, от которых зависит рост и развитие озимых культур осенью, являются основными элементами агрометеорологических условий [Кулик, 1964; Уланова, 1967, 1975].

Большое значение для роста и развития озимых различных сроков сева осенью при хороших условиях увлажнения имеет сумма температуры за период осенней вегетации. Очень большую роль при этом играет продолжительность периода осенней вегетации. Оптимальная продолжительность периода осенней вегетации для роста и развития озимых составляет около 50 дней, при средней сумме положительной температуры за этот период 500–550 °С [Яковлев, 1966].

В разные периоды вегетации у озимых культур наблюдается неодинаковая реакция на тепловой режим. Ещё в начале 19-го века было установлено, что прохождение ростком пшеничного растения одного сантиметра слоя почвы происходит при сумме среднесуточных значений температуры воздуха 10...12 °С. Зерно озимой пшеницы прорастает при 1–2 °С, а ассимиляционные процессы начинаются при 3–4 °С. При достаточном увлажнении почвы скорость развития растений озимых культур зависит от суммы эффективной температуры выше 5 °С [Шиголев, 1951]. Всходы озимой пшеницы появляются при накоплении сумм эффективной температуры воздуха, равной 67 °С от даты сева, озимой ржи – 52 °С [Носатовский, 1950]. Зависимость продолжительности периода посев-всходы озимых от средней температуры воздуха была определена Е.С.Улановой [1975]. Ею было показано, что наименьшая продолжительность периода посев-всходы (5–7 дней) бывает при температуре воздуха 14 °С и при хороших запасах влаги пахотного слоя почвы (30–50 мм). При той же температуре, но при уменьшении запасов влаги до 15 мм всходы появляются через 12 дней, а при уменьшении до 6–7 мм – через 20–25 дней. Однако часто в период сева озимых верхние слои почвы не имеют оптимального увлажнения, и появление всходов задерживается из-за недостатка влаги в почве. Следовательно, определить наступление фаз развития озимых осенью, учитывая только один тепловой режим при условии недостаточного увлажнения почвы, нельзя.

Пониженная температура воздуха не только увеличивает продолжительность периода посев-всходы, но и снижает полноту всходов пшеницы, особенно если она удерживается всего на 3–4 °С выше значения температурного предела для роста этой культуры [Коровин и др., 1977; Коровин, 1984]. Аналогичные зависимости продолжительности межфазных периодов, у озимых культур от температуры воздуха были получены Н.Н. Яковлевым [1966].

В зимний период хорошо развитая озимая пшеница вымерзает при температуре воздуха -17...-19 °С без снежного покрова, при наличии снега на полях, зимующие растения выдерживают -20...-25 °С, озимая рожь выдерживает морозы -25...-30 °С (при наличии снежного покрова 15–20 см), т.к. она более зимостойкая и морозостойкая, чем озимая пшеница. Весной при возобновлении вегетации для озимой пшеницы благоприятной является 12...15 °С. В фазу выхода растений в трубку оптимальная температура составляет 15...16 °С. При пониженной температуре воздуха (-7...-9 °С) повреждается главный стебель и растение может погибнуть. В период созревания зерна благоприятной считается температура воздуха 22...25 °С. Однако при слишком высокой температуре (32...35 °С), недостатке влаги и суховеях нарушается, или даже ингибируется, нормальный процесс фотосинтеза, кратковременно повышается и очень быстро подавляется транспирация, существенно возрастает тепловой режим листьев растений, температурный градиент между листом и воздухом может превышать 3...10 °С, (тормозится рост растений), что негативно влияет на налив зерна (возможна пустоколосица).

Потребление влаги растениями в течение периода осенней и весенне-летней вегетации идёт неравномерно и зависит от возраста, интенсивности роста и развития, густоты растений, температуры воздуха, развития корневой системы и наличия влаги в почве. Так, например, оптимальные условия влагообеспеченности при прорастании семян и развитии всходов озимых в Чернозёмной зоне создаются при запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы 30–50 мм [Вериге, 1957; Вериге и др., 1973]. При избыточных запасах продуктивной влаги (больше наименьшей полевой влагоемкости почвы) состояние озимых ухудшается. Это происходит из-за плохой аэрации в корнеобитаемом слое почвы.

В период посев-всходы увлажнение почвы оказывает существенное влияние не только на продолжительность этого периода, но и на последующее развитие растений [Задонцев и др., 1974]. Растения, которые от посева до всходов находились в условиях недостаточного увлажнения, были ослабленными, с узкими листовыми пластинками и недостаточно развитой корневой системой. Прохождение фенологических фаз у таких растений задерживалось, кустистость была ниже, к зиме у них накапливалось значительно меньше углеводов, чем у растений, выращенных при нормальной влагообеспеченности. Такие растения плохо переносят неблагоприятные зимние условия, к весне сильно ослабевают и изреживаются.

В период прорастания семян и появления всходов очень важно учитывать и запасы влаги в самом верхнем слое почвы (0–10 см), если в этом слое почвы запасы продуктивной влаги более 10 мм, то появление всходов озимой пшеницы обеспечивается через 8 дней после посева её в оптимальные сроки [Кулик, 1964]. Запасы влаги в слое почвы 0–10 см более 10 мм – это надежный показатель благоприятных условий начала осенней вегетации озимых, а менее 10 мм – показатель большой зависимости всходов от дождей. В длительные бездождные периоды в засушливых районах семена озимых начинают набухать и прорасти только после выпадения дождя [Кулик, 1952]. Поэтому в сухие годы за начало развития озимых осенью следует принимать не дату сева, а дату, на которую создались условия, благоприятные для набухания и прорастания семян озимой пшеницы [Зубарев, 1957; Свисюк, 1980, 1989].

Сроки начала кущения озимой пшеницы также находятся в тесной зависимости от температуры и влажности почвы. По данным А.И. Носатовского [1950], кущение озимой пшеницы начинается при накоплении от фазы всходов суммы среднесуточной температуры 250 °С. Однако в этот период в южной половине Европейской территории увлажнение пахотного слоя почвы часто бывает недостаточным, и наступление фазы кущения задерживается даже при оптимальных значениях температуры воздуха и длины дня.

Благоприятные условия увлажнения весной, как правило, не сглаживают тех различий, которые наблюдались у растений в начальные этапы развития при

недостаточном увлажнении, они сохраняются до конца вегетации (высота их и число колосоносных стеблей меньше) и сказываются на продуктивности.

Для нормального осеннего кущения озимой пшеницы необходимо иметь в слое почвы 0–20 см не менее 30 мм продуктивной влаги. До 70 % всей влаги, потребляемой за вегетацию, озимая пшеница расходует в период от весеннего отрастания до колошения, 20 % – в период от цветения до восковой спелости зерна. Критическим периодом по отношению к влаге является период «выход в трубку – колошение». При продолжительном переувлажнении темпы роста растений снижаются. Для получения высоких урожаев озимой пшеницы с хорошим качеством зерна наиболее благоприятная влажность почвы в слое 0–60 см ниже влажности разрыва капилляров [Сказкин, 1955].

### ***Радиационный режим.***

Наряду с рассмотренными гидротермическими факторами жизнедеятельности растений – непосредственно поглощаемой и используемой влагой и косвенно влияющим на физические и биохимические процессы тепловым режимом – огромную роль в продукционном процессе играет и приходящая солнечная радиация.

Она, как известно, является единственным источником энергии для автотрофных растений, запасаемой в образуемой ими биомассе органов в ходе протекания многочисленных физиологических процессов.

При формировании в конце 19–го – начале 20–го века будущей агрометеорологии, как научно-прикладной дисциплины, ее основоположники – метеорологи А.И. Воейков и П.И. Броунов – в своих выступлениях, в статьях, в основанном ими «Метеорологическом вестнике» подчёркивали необходимость учёта действия трёх основных факторов – влаги, тепла, света [Воейков, 1884; Броунов, 1928].

Они, как затем и многие другие учёные, использовали понятие «свет», хотя ранее работами Р.Майера, К.А. Тимирязева было чётко указано его неприменимость, поскольку от солнца приходит энергия, радиация, тогда как «свет» – это физиологическое ощущение энергии глазом человека в области 360–760 нм.

Мы, как это принято в современной метеорологии [Хромов, Петросянц 2001; Кислов, Суркова, 2016], в физиологии растений [Кузнецов, Дмитриева, 2006; Алёхина и др., 2005] говорим о радиации (лучистой энергии солнца), помня о том, что в ряде понятий лишь традиционно сохранено слово «фото» (фотосинтез, фотоморфогенез, фототранспирация, фотопериодизм в целом и фотопериодизм по отношению к реакции зацветаний растений, фоторегуляция и т.д.) [Бриллиант, 1949].

Наряду с метеорологами в изучение влияния солнечной радиации на ход и интенсивность роста и развития растений большой вклад внесли экспериментальные исследования физиологов и особенно К.А. Тимирязева и его школы, в которых подчёркивалось, что, хотя «физиология растений – теоретическая и экспериментальная основа современного земледелия», но она в этом случае должна идти рука об руку с работой метеорологов [Тимирязев, 1906, 1948].

К настоящему времени, благодаря исследованиям в условиях теплиц и фитотронов, стала очевидной значимость лучистой энергии в продукционном процессе. Действительно, солнечная радиация (0,29–4,00 мкм), особенно в фотоактивной области (380–710 нм) является для растений той физиологически активной энергетической силой, за счёт поглощения которой осуществляются как высокоэнергетические процессы, так и низкоэнергетические регуляторно-информационные [Шульгин, 1963, 1973, 2004, 2009; Шульгин и др., 2015; Шульгин, 2017].

Совокупность этих, как и многих других «фото»-и «темновых» процессов обуславливает фотосинтетическую деятельность растений. Усилиями метеорологов, физиков, физиологов количественно оценены величины прихода радиации солнца (включая ФАР) по месяцам, декадам, в период от всходов до созревания биологической и хозяйственно-ценной продукции, массы органов растений и посевов в целом, что позволило выявить наиболее важную величину – коэффициент эффективности использования приходящей и поглощенной ими ФАР [Ничипорович, 1956, 1966, 1972; Шульгин, 1963; Тооминг, 1977; Росс, 1975; Мурей, Шульгин, 1978].

Было установлено, что в оптимальных условиях роста (как в искусственных, так и в естественных условиях) посевы лучших по продуктивности сельскохозяйственных культур (свёкла, кукуруза, картофель, подсолнечник, пшеница) могут использовать приходящую ФАР с КПД порядка 3–5 % и поглощенную ФАР с КПД 4–6 %. Тем самым, стало возможным оценивать эффективность деятельности посевов в разных условиях роста, величину возможной среднегодовой продуктивности и урожайности культур, а также те параметры строения посевов, которые обеспечивали бы формирование той или иной биомассы.

Значение КПД могут характеризовать не только саму продуктивность посевов, но и структуру посева, его плотность, агротехнику его возделывания.

Значимость накопленных материалов по физиологическому действию радиации на фотобиологические процессы достаточно полно показана в современной литературе, учебниках по физиологии растений [Кузнецов, Дмитриева, 2006]. Все более определенное место стало отводиться радиации и в учебниках и учебных пособиях по агрометеорологии [Чирков, 1986; Полевой, 1992; Мищенко, 2009; Грингоф, Клещенко, 2011].

Однако эта информация, получаемая из литературных источников, до настоящего времени в агрометеорологической практике, в том числе оперативной, а также в агрометеорологических прогнозах практически не используется или используется недостаточно.

Как отмечено в [Шульгин, Вильфанд и др., 2015, 2017], это связано с одной стороны с недостаточностью актиметрической информации о региональной специфике прихода радиации и, с другой стороны, с бытующим мнением, что радиация не является лимитирующим фотосинтетическую деятельность фактором.

Между тем, даже в пределах климатического ряда данных о приходе радиации имеет место и всё более возрастает межгодовая и внутригодовая её изменчивость, и, соответственно, радиационный режим посевов.

Эту изменчивость необходимо принимать во внимание, ибо тепловой и водный режимы далеко не всегда тесно коррелируют с радиационным режимом. К тому же, начатые в последние десятилетия наши исследования, совместно проводимые в Отделе агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России и

на Кафедре метеорологии и климатологии географического факультета Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова, указывают на желательность и перспективность агрометеорологической оценки влияния радиации на состояние посевов ряда сельскохозяйственных культур и их конечную продуктивность.

Укажем лишь на некоторые примеры учёта радиации в наших оценках и прогнозах развития посевов.

Так, во-первых, если до наших работ величину прихода солнечной радиации в области ФАР рассчитывали за весь период «всходы–полное созревание зерновок» у пшеницы, то мы рассчитывали лишь за период фотосинтетически активной деятельности до молочной спелости, который на 25–30 дней короче. Посев в этом случае, при том же КПД ФАР, может создавать, согласно нашим расчётам, меньшую биомассу и меньшую урожайность.

Более того, зная, что в течение первых 3–5 дней после всходов фотосинтетический аппарат ещё не сформирован, не работает, то и приходящая радиация поэтому может не учитываться. Следовательно, сумма суточных величин приходящей ФАР меньше ранее рассчитываемой [Шульгин, Вильфанд, Страшная, Береза, 2015].

При расчётах сумм продуктивной ФАР, непосредственно участвующей в создании биомассы посевов, пока в других работах, кроме наших, не подчёркивалось то обстоятельство, что в период засушливых условий, в течение которых ФАР, поглощаясь растениями, может не использоваться в фотосинтезе вследствие ингибирования фототранспирации, а идти на теплообмен со средой.

Естественно, что приход ФАР в этот период не должен включаться в суммы продуктивной радиации. Собственно говоря, этот же подход может использоваться в отношении расчётов сумм ФАР при учёте периода без засухи, но с высокой температурой воздуха, также ингибирующей прежде всего транспирацию.

Во-вторых, учёт прихода ФАР в период осенней вегетации (от всходов до снижения и прекращения фотосинтеза у озимой пшеницы) важен для оценки интенсивности ростовых процессов, кущения и накопления ассимилятов. Конкретно это означает, что чем большим за осень до холодов был приход ФАР, подавляющий

«световую этиоляцию» будущего стебля, тем большим могло быть заложено зачаточных побегов кущения, тем больше накоплено крахмала, позже превращаемого в сахара, тем выше холодо- и морозоустойчивость растений [Трунова, 1965; Туманов, 1979].

Тем самым, учёт прихода ФАР к озимой пшенице осенью может позволить делать первый, причём радиационный, вероятностный «осенний прогноз» возможной урожайности при условии, что в зимне-весенний период не возникнут неблагоприятные агрометеорологические условия.

В-третьих, в наших публикациях отмечалось, что существенно важен учёт сумм ФАР как за период фотосинтетической деятельности, так и оценка сумм ФАР, приходящей в течение 3–5 дней в первый критический радиационный период [Шульгин и др. 2015, 2017], когда происходит детерминация строения зачаточных междоузлий будущего стебля. В этот период очень важным является вопрос потенциальной мощности, механической устойчивости побега, массы листьев и в итоге массы зерновок колоса и это происходит как у яровой, так и у озимой пшеницы. При этом радиация выступает как информационно-регуляторный фактор, который в дальнейших исследованиях и прогнозах нельзя будет не учитывать.

В-четвёртых, в наших публикациях также отмечается (и по существу впервые) важность учёта роли суточной длины фотопериода в процессах роста озимых растений в осенний период [Шульгин и др. 2017]. Отмечается также, что в понятие «фотопериод» или, что точнее, «физиологическая активная длина дня» входит как астрономическая длина дня (от восхода до захода солнца), так и суммарный период утренних и вечерних гражданских сумерек.

Значимость учёта длины фотопериода выявляется при оценках интенсивности кущения озимых растений. Дело в том, что все виды, разновидности, сорта пшеницы, в том числе мягкая яровая и озимая, являются типичными длиннодневными растениями по фотопериодической реакции перехода к формированию генеративных органов, быстро проходящими этот переход на длинном дне к собственно развитию [Разумов, 1961; Долгушин, 1958, 1962; Долгушин, Никифоров, 1968; Куперман, 1950, 1955, 1969]. Укорочение же



фотопериода, замедляя процессы закладки зачаточных репродуктивных органов, усиливают кущение на втором – третьем этапах органогенеза.

Как на весьма чёткий пример иллюстративного характера к сказанному можно сослаться на результаты опытов с озимой пшеницей, проведённых в искусственных условиях при разной температуре воздуха и коротком фотопериоде [Мошков, 1966].

При выращивании пшеницы в условиях 8–10-ти часового фотопериода растения интенсивно кустились во всех вариантах опыта, и кущение усиливалось при понижении температуры воздуха с 20...25 до 12...14 °С. У таких растений, спустя некоторое время растущих далее на 16–18-ти часовом дне, количество колосonoсных побегов у одного растения достигало нескольких десятков, но таких растений было мало (5–10), вместо 200–400 в обычных условиях. Такие растения не могли и не обеспечивали высокую урожайность искусственного посева.

Из этих общих положений следует, что у озимой пшеницы, высеваемой в конце августа–начале сентября при постоянном укорочении дня до 13–12-ти и менее часов, происходит ингибирование репродуктивных процессов и формирование точек ветвления в стеблевом узле кущения.

Длина фотопериода, тенденция его изменения, как неотъемлемый компонент именно радиационного режима, выступает наряду с пониженной температурой воздуха значимым фактором состояния посевов озимых злаков и учёт этого фактора важен в решении вопроса оптимизации сроков сева.

Приведенные примеры многогранной роли радиации в мониторинге состояния посевов мы рассматриваем, главным образом, как иллюстрацию современного состояния вопроса о роли радиационного режима в формировании и регуляции продуктивности и хотя учёт действия радиации пока не входит в задачу оценки состояния посевов и использования в имеющихся агрометеорологических прогнозах, но несомненно, новые, причём весьма конкретные знания о её роли, будут способствовать дальнейшему совершенствованию и уточнению уже имеющихся, в том числе разрабатываемых нами и представленных в диссертационной работе методов и подходах к оценке состояния озимых культур.

### **1.3. Мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в системе агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства России**

В сельскохозяйственном производстве стратегия в хозяйственной деятельности существенно зависит от степени учета агрометеорологических условий, складывающихся в конкретный год. Специализация сельскохозяйственного производства с учетом агроклиматических ресурсов территории каждого района, оперативное принятие решений по применению агротехнических приемов в соответствии со сложившимися и ожидаемыми условиями обеспечивают повышение продуктивности посевов и устойчивости земледелия в целом.

В связи с этим основной задачей агрометеорологов является: обеспечение потребителей наиболее достоверной информацией и прогнозами об опасных гидрометеорологических явлениях, об условиях сева, перезимовки, условиях формирования урожая (ожидаемой урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур), уборки, а также данными о погодно-климатических ресурсах территории и более рациональном их использовании.

В основе любой агрометеорологической информации лежат наблюдения, проводимые на сельскохозяйственных полях, являющиеся составной частью Государственной системы наблюдений и контроля природной среды, осуществляемой в подразделениях Росгидромета. Агрометеорологические наблюдения проводят на специализированных агрометеорологических станциях и постах, а также на ГМС, привлеченных к таким наблюдениям. Все виды наблюдений проводятся с помощью наземных и дистанционных (самолетных и космических) методов.

К наземным наблюдениям относятся стандартные, стационарные и маршрутные наблюдения, выполняемые в соответствии с «Наставлениями», «Инструкциями» и «Руководствами» Росгидромета; сюда же относятся лабораторные и полевые эксперименты, научно-производственные экспедиционные наблюдения. Все сложившиеся формы агрометеорологических наблюдений позволяют получать разнообразную информацию о состоянии среды обитания сельскохозяйственных растений, продуктивности посевов в земледельческих районах страны [Наставление, 2000; КН-21, 2008].

По данным на 2017 год, данные наземных агрометеорологических наблюдений поступают в ФГБУ «Гидрометцентр России» более, чем с 800 гидрометеорологических станций–корреспондентов.

Исходными данными для агрометеорологического мониторинга являются фактические материалы сопряженных наблюдений за метеорологическими условиями и состоянием сельскохозяйственных культур на производственных посевах. Ежедекадно специалисты-агрометеорологи Гидрометцентра России получают данные наблюдений гидрометстанций (агротелеграммы по коду КН–21, 2008 г.), в автоматизированном режиме проводят их расшифровку, систематизацию и на их основе анализируют сложившиеся условия сева, роста и развития сельскохозяйственных культур, проведения уборочных работ, оценку условий осенней и весенне-летней вегетации растений и агрометеорологические условия зимовки озимых культур для передачи информации потребителям.

Несмотря на довольно густую сеть гидрометеорологических станций, ведущих агрометеорологические наблюдения, большие площади между ГМС остаются неохваченными агрометеорологическими наблюдениями. В связи с этим, информация о состоянии посевов сельскохозяйственных культур, поступающая от гидрометеорологических станций, недостаточна. Для решения задачи полноты информации гидрометеорологические станции Росгидромета проводят маршрутные обследования посевов. Главная задача маршрутных обследований заключается не только в выявлении районов с хорошим, удовлетворительным и плохим состоянием посевов, но и в определении количества (процента) посевов, находящихся в различном состоянии на обследуемой территории. Однако и маршрутные обследования не могут охватить всю территорию возделывания той или иной культуры в регионе.

В конце 60-х – начале 70-х годов началось активное развитие дистанционных (бесконтактных) методов оценки состояния растительности с помощью летательных аппаратов (самолетов, вертолетов), на борту которых установлена необходимая аппаратура (оценку проводит сам наблюдатель). Для практического использования в агрометеорологии наиболее пригодным оказался так называемый

аэрофотометрический метод оценки параметров растительного покрова [Беляева, Рачкулик, Ситникова, 1969].

Авиационное обследование посевов относится к разновидности маршрутных обследований, но преимущество этого метода заключается в возможности проводить обследования большого количества полей на значительной территории в течение короткого времени (дня), т.е. определить фазы развития растений (от всходов до полной спелости), засорённость, полегание, и, что особенно важно – состояние посевов в одно и то же время. В отличие от наземных наблюдений, при авиаобследовании посевов фазы развития и оценка состояния посевов производятся по косвенным признакам. К таким признакам относятся цвет, равномерность травостоя и степень покрытости почвы травостоем и др. С этой целью были разработаны шкалы для визуального определения с самолёта фаз развития, засорённости, полегания, степени повреждения и общей оценки состояния посевов [Борисоглебский, 1967; Борисоглебский и др., 1968; Руководство, 1971]. Метод был достаточно надежным, но довольно затратным и требовал длительной камеральной обработки данных. В настоящее время авиационное обследование посевов в системе Росгидромета не проводится.

С 1970-х годов началось активное развитие спутникового мониторинга состояния растительности. В ряде исследований российских и зарубежных учёных [Кондратьев, Виноградов, 1971; Рачкулик, Ситникова, 1981; Кондратьев, Федченко, 1982; Клещенко, 1986; Каулакис и др., 1987; Kogan F., 1987; Clevers J., 1988; Wiegand C. и др., 1991; Richardson A., 1992; Cihlar J., 1994; Huete A., 1999; Lobell, 2002; Kogan F. и др., 2003; Барталев, Лупян и др., 2005; Клещенко, Вирченко, 2006; Голубятников и др., 2006; Лупян, Барталев, Савин, 2009; Клещенко, Савицкая, 2011; Барталев и др., 2011; Pan Y. и др., 2012; Барталев и др., 2012; Мурыгин и др., 2013; Касимов и др., 2015; Сладких, 2016; Голубева и др., 2016; Барталев и др., 2016; <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> – режим доступа] показано, что использование данных дистанционного зондирования со спутников позволяет существенно повысить эффективность решения задач оценки состояния растительного покрова и в том числе сельскохозяйственных культур.

В Росгидромете данные спутниковых наблюдений для оценки состояния озимых культур в осенний и весенний периоды вегетации по отдельным территориям используются с начала девяностых годов прошлого века [Клещенко, 1986; Методические указания, 1991; Kleschenko, 2006; Клещенко и др., 2013].

Основными особенностями разработанной в Росгидромете оперативной системы мониторинга состояния посевов по спутниковой информации были:

- использование в качестве исходной информации данных с метеорологической спутниковой системы типа «NOAA» (США) и российского ИСЗ «Метеор»;

- использование для калибровки спутниковой информации данных стандартных агрометеорологических наблюдений Росгидромета. Обработка полученной со спутника информации проводится по специально созданным программам и алгоритмам [Клещенко 1986; Клещенко, Вирченко, 2006; Клещенко и др., 2010; Грингоф, Клещенко, 2011]. В последние годы во ВНИИСХМ созданы методы обработки спутниковой информации, позволяющие визуализировать данные о состоянии посевов. В картированном виде информация передаётся в Гидрометцентр России для использования в оперативной работе.

Современный уровень технологий спутникового мониторинга позволяет получать оперативную объективную информацию о сельскохозяйственных угодьях по всей территории России. При этом спутниковые данные о состоянии и развитии сельскохозяйственных культур обладают высокими уровнями регулярности и пространственно–временной однородности, что обеспечивает их сопоставимость в различные годы и по различным регионам.

Наличие автоматизированных методов сбора и обработки спутниковых данных позволяет получать оценки интегральных показателей состояния и развития сельскохозяйственных культур в масштабах страны, а также обеспечивает высокий уровень объективности получаемой информации. Указанные технологические предпосылки сформировали основу для разработки принципиально новых информационных систем дистанционного мониторинга.

К такого рода системам относится, в частности, разработанный ИКИ РАН специализированный спутниковый веб-сервис ВЕГА (<http://pro-vega.ru/>), обеспечивающий оперативный мониторинг состояния растительного покрова на

территории России и стран ближнего зарубежья [Лупян и др., 2011; Толпин и др., 2014].

Информационной основой сервиса ВЕГА в настоящее время являются общедоступные данные спутниковых систем дистанционного зондирования Terra/Aqua-MODIS и Landsat-TM/ETM+. При этом, сервис ВЕГА предоставляет пользователям централизованный доступ к непрерывно обновляемым архивам спутниковых данных (с 2003 г.) и получаемым на их основе информационным продуктам, включая:

- прошедшие глубокую предварительную обработку (привязка, атмосферная коррекция, фильтрация облачности, формирование композитных изображений и пр.) спутниковые данные;

- полученные на основе спутниковых данных информационные продукты для анализа состояния растительности (вегетационные индексы);

- регулярно обновляемые на основе спутниковых данных тематические информационные продукты, характеризующие типы растительного покрова (включая классы сельскохозяйственной растительности) и его состояние, определяемое текущим значением индекса NDVI в сравнении с его многолетней нормой.

Для качественной оценки состояния озимых культур в системе ВЕГА используется анализ текущей локальной динамики т.н. «вегетационного индекса» на полях озимых, в сравнении со средней многолетней его динамикой. В качестве информативного индекса используется нормализованный «разностный» вегетационный индекс растительности NDVI, получаемый регулярно по неделям вегетации. NDVI – безразмерная величина и рассчитывается как отношение разности коэффициентов спектральной яркости в ближнем ИК (NIR) и красном (RED) диапазонах к их сумме, согласно приведенной ниже формуле:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

Реализованный в системе веб-сервиса ВЕГА метод оценки состояния озимых [Лупян, Барталев, 2009; Толпин, 2009] основан на использовании многолетних рядов данных MODIS и включает в себя следующие шаги: 1 – создание и ежегодное обновление многолетних (начиная с 2001 года по настоящее время) карт всходов

озимых культур; 2 – пространственное (в пределах административного района) осреднение временных профилей NDVI по карте всходов озимых культур; 3 – построение среднемноголетних временных профилей NDVI озимых культур; 4 – оперативная оценка отклонений текущих профилей NDVI озимых культур от их среднемноголетних временных профилей на уровне административных районов.

К недостаткам метода можно отнести отсутствие количественных оценок площади с плохим состоянием озимых ко времени прекращения вегетации и недостаточный учёт сложившихся агрометеорологических условий.

Отдел агрометеорологических прогнозов ФГБУ «Гидрометцентр России» активно использует сервис ВЕГА с ноября 2012 г. для анализа оперативных и с 2003 г. исторических данных о динамике NDVI для оценки состояния сельскохозяйственных культур, т.к. в настоящее время совершенствование технологии возделывания сельскохозяйственных культур, внедрение новых сортов, обеспечивающих возможность увеличения урожайности сельскохозяйственных культур на фоне происходящих климатических изменений требуют более детальной оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур.

В то же время в связи с сокращением сети гидрометеорологических станций Росгидромета уменьшилась возможность детальной оценки состояния сельскохозяйственных культур на больших территориях физико-географических регионов России. В ряде случаев имеющиеся агрометеорологические методы и подходы к детальной оценке состояния сельскохозяйственных культур не могут быть использованы в оперативном агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства в полной мере в связи с возросшими требованиями к полноте агрометеорологической информации. В связи с этим дальнейшее развитие агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства связано с необходимостью совершенствования существующих методов агрометеорологических наблюдений и разработкой новых агрометеорологических методов оценки состояния сельскохозяйственных культур на основе совместного использования наземных данных и спутниковой информации. Наши исследования [Страшная и др., 2014; Страшная и др., 2015; Береза и др., 2015; Береза и др., 2016 – электронный ресурс], а также исследования, проведённые во ВНИИСХМ [Клещенко

и др. 2010; Клещенко и др., 2011; Клещенко и др., 2012; Клещенко и др., 2013; Клещенко, Савицкая, 2014;], убедительно показали возможность разработки таких методов. Кроме того, исследования, проведенные во ВНИИСХМ [Клещенко, Найдина, 2012], а также в Гидрометцентре России [Страшная и др., 2015; Береза и др., 2015] свидетельствуют о возможности использования спутниковой информации, имеющейся на сервисе ВЕГА в динамико–статистических и физико–статистических моделях роста и развития сельскохозяйственных культур для прогнозирования их урожайности. По отдельным территориям созданные в этих научных учреждениях методы прогнозирования урожайности проходят производственную проверку.

#### **1.4. Обзор зарубежных систем мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур**

*Система Международной организации по продовольствию и сельскому хозяйству ООН (ФАО).* Система мониторинга посевов ФАО содержит подсистемы прогнозирования урожайности, учёта наземной информации, логистическую и др. Подсистема получения, обработки и использования спутниковой информации CFSAMs (Crop and Food Supply Assessment Missions – система по оценке урожая и снабжения продовольствием). В этой системе спутниковые изображения имеют две основные функции. Прежде всего, они служат для определения областей, которые могут быть подвержены влиянию опасных природных явлений, например, засухе, с тем чтобы страны-участники могли планировать проведение полевых работ. Во-вторых, эти изображения являются основой для объединения различных видов агрометеорологической информации с точки зрения видов на урожай. Частично эти данные заменяют собой метеорологические наблюдения для тех стран, в которых они не проводятся совсем или проводятся в ограниченном объеме.

В работе системы используются два вида спутниковых изображений. Первый из них относится к Африке, а именно к ARTEMIS (African Real Time Environmental Monitoring System – африканская система мониторинга окружающей среды в режиме реального времени). Система получает данные спутника «METEOSAT» из Европы, которые трансформируются в изображения типа Cold Cloud Duration (CCD



– продолжительность нахождения над данным местом холодных облаков), выраженная в часах. Дальнейшее преобразование трансформирует полученные изображения в количество дней с осадками. Второй источник принадлежит США и представляет собой данные со спутников типа «NOAA», данные с которого используются для расчёта индекса NDVI.

Изображения типа CCD используются для оценки фактических осадков. При этом используются методы калибровки и оценивания параметров по соответствующим моделям. Следует подчеркнуть, что если осадки продолжаются от 5 до 10 дней, в этом случае модель не используется, а относительно осадков принимается предположение об их «значительности». Таким образом, изображения типа CCD используются для локализации засух, и совместно с другими метеорологическими данными (включая NDVI) могут быть использованы для определения фактического уровня выпадения осадков и их интенсивности [<http://www.fao.org/docrep/004/x0003e/imgs/ccd98.htm>].

Если дополнительная информация по развитию растений в конкретном месте отсутствует, то система сравнивает изображения типа CCD и NDVI за пять вегетационных сезонов с учётом фактического урожая за эти годы. В случае необходимости ФАО может рекомендовать выбор одного года в качестве года-аналога. CCD и NDVI имеют хорошее практическое значение при оценке условий на пастбищах на аридных и полуаридных территориях и не могут применяться для оценки состояния конкретных культур.

*Глобальная система информации и раннего предупреждения по проблемам продовольствия и сельского хозяйства (GIEWS)* содержит информацию о текущем сельскохозяйственном сезоне, объеме импорта, приводятся также оценки и прогнозы ожидаемой урожайности. На сайте GIEWS представлены краткие обзоры, в которых содержится актуальная информация о продовольственной ситуации и в России – данные о сроках вегетационного периода для основных сельскохозяйственных культур (пшеница, ячмень, кукуруза, овёс, рожь); сравнение урожая основных зерновых культур текущего года с урожаем предшествующих лет [<http://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=RU>].

В разделе «Наблюдения Земли» представлены карты пространственного распределения сезонного, вегетационного индикаторов и показателей осадков. Вегетационные индексы получены по спутниковой информации NOAA. К сезонным показателям относятся индекс здоровья растительности VHI (Vegetation Health Index) и сельскохозяйственный индекс стресса ASI (Agricultural Stress Index). Индекс здоровья VHI широко используется при мониторинге засух и для определения состояния растительности.

На сервисе также доступны карты пространственного распределения аномального NDVI. Этот показатель указывает на отличие значения NDVI текущей декады от среднеегоголетнего значения NDVI для этой декады. Увеличение текущего значения NDVI от среднеегоголетнего на 20 % соответствует хорошему состоянию посевов, уменьшение текущего значения на 40 % определяет плохое состояние посевов. Этот критерий оценки состояния посевов является достаточно грубым, поскольку основан только на одном параметре NDVI. Наиболее надежные оценки состояния посевов можно получить, если наряду со спутниковой информацией использовать агрометеорологические данные, а также располагать информацией о фактических сроках сева. Высокое значение NDVI в начале сезона дождей не всегда соответствует началу роста растений.

*Европейская система мониторинга состояния посевов.* Программа MARS – Monitoring of Agriculture by Remote Sensing (мониторинг сельского хозяйства по данным дистанционного измерения), разрабатываемая центром научных исследований (JRC EC), предназначена как для мониторинга продовольственной безопасности в Европе, так и урожайности сельскохозяйственных культур в наиболее подверженных погодным рискам регионах мира [<http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Bulletins-Publications> – режим доступа]

Главной составляющей системы MARS является CGMS (система мониторинга состояния посевов). Она основана на сборе, обработке и анализе текущей метеорологической информации, моделировании агрометеорологических параметров, анализе спутниковой информации, статистическом анализе и прогнозе.

Система работает в оперативном режиме, предоставляет информацию о состоянии основных сельскохозяйственных культур в Европе – пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник, картофель, сахарная свекла, соя.

В настоящее время реализовано два проекта: проект MARS–STAT обеспечивает информационную поддержку Европейского Союза в области продовольственной политики и проект MARS–FOOD осуществляет поддержку политики Европейского Союза в области продовольственной помощи.

В проекте MARS–STAT используются метеорологические данные и данные высокого пространственного разрешения для распознавания сельскохозяйственных культур и оценки площадей, занятых конкретными сельскохозяйственными культурами. Метеорологические и климатические данные, информация о характеристиках почвы и сельскохозяйственных культурах, приемах агротехники используются для моделирования развития сельскохозяйственных культур (модель WOFOST) и прогнозирования их урожайности и валового сбора. Данные высокого пространственного разрешения позволяют контролировать отдельные фермерские хозяйства (в паспорт хозяйства входит информация за последние 10–15 лет: площади полей, культуры, их урожайность, количество и качество внесенных удобрений, календарь работ и т.д., а также информация высокого пространственного разрешения) [Diepen, 1989; Boogaard H.I. и др., 2002; de Wit A., 2012].

Проект MARS–FOOD использует только данные низкого пространственного разрешения и соответствующие метеорологические данные. Эта информация используется совместно с региональными агрономическими данными для прогнозирования урожая основных сельскохозяйственных культур, культивируемых в различных странах мира. Основа методологии – оценка трендов, анализ текущей ситуации по сравнению с другими годами, регрессионный анализ, а также оценки экспертов [<https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc-mars-bulletin-vol25-no3.pdf>].

*Системы оценки состояния посевов в США.* В американском министерстве сельского хозяйства – The U.S. Department of Agriculture (USDA) существует специальная служба по обслуживанию сельского хозяйства (FAS – Foreign Agricultural Service), в задачи которой входит обеспечение взаимодействия сельского хозяйства США с мировым рынком в целях расширения экспортных

возможностей и глобальной продовольственной безопасности через реализацию различных программ, например, Foreign Market Development Program – программа развития зарубежных рынков.

FAS готовит и распространяет отчёты по объёмам мирового продовольствия, сельскохозяйственному импорту и стандартам. Кроме того, FAS отслеживает техническую информацию о наличии пестицидов в продуктах питания, их маркировку и стандарты, требования санитарии и фитосанитарии, о пищевых добавках, сертификации и проверке стран, импортирующих в США продукты питания. FAS имеет штат сотрудников в 80-ти странах мира. Специалисты службы наблюдают и информируют министерства сельского хозяйства соответствующих стран о существующих проблемах в области сельского хозяйства.

Для оказания помощи в распространении важнейшей сельскохозяйственной информации FAS разработала Global Agriculture Information Network (GAIN – сеть глобальной сельскохозяйственной информации). GAIN является web-ориентируемой системой, позволяющей пользователям работать с базой данных FAS по зарубежным отчетам с 1995 г. по настоящее время. Пользователи имеют возможность выбрать отчет по дате, стране, продукции или по ключевым словам. Ежегодно FAS представляет более 3000 отчётов.

Отдел по прогнозированию производства сельскохозяйственных культур (PECAD) разрабатывает программу и средства глобального мониторинга сельскохозяйственной продукции с использованием данных дистанционного зондирования. Основная цель программы – предоставление надежных, объективных и точных данных о производстве сельскохозяйственной продукции в мире. PECAD использует спутниковые данные различного пространственного разрешения, позволяющие получать надежные и своевременные наблюдения, особенно для труднодоступных регионов. Для оценки площадей посевов и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на территории США, используются спутниковые данные высокого пространственного разрешения (Landsat-7, SPOT, IKONOS, Quickbird), а для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на территории других стран - данные низкого и среднего пространственного разрешения (NOAA-AVHRR, SPOT- IV, MODIS). Наряду со спутниковыми данными

PECAD использует метеорологические данные, модели сельскохозяйственных культур и официальные правительственные отчеты. Комплексирование данных различных независимых источников позволяет минимизировать погрешности расчётов. Для глобального с.х. мониторинга создана система управления базой данных Crop Condition Data Retrieval and Evaluation – Поиск и оценка данных о состоянии урожая (CADRE). База данных содержит большой архив спутниковых снимков [<https://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/datasources.aspx#Abstract>].

Система позволяет проводить сравнительный анализ данных рассматриваемого года с многолетней серией данных предшествующих лет. Также в базе хранится метеорологическая информация, которая используется в моделях производства сельскохозяйственных культур. Результаты анализа используются для оценки продуктивности посевов, подтверждения или опровержения информации об опасных природных явлениях, таких, как засуха или наводнение, которые могут существенно повлиять на производство сельскохозяйственной продукции [<https://www.pecad.fas.usda.gov/>].

В настоящее время разные страны имеют возможность получать информацию об условиях вегетации сельскохозяйственных культур и оценке их продуктивности в режиме реального времени через веб-интерфейс Crop Explorer. Данный интерактивный ресурс разработан по инициативе Министерства сельского хозяйства США, в рамках реализации проектов и программ Службы по сельскохозяйственному обслуживанию (FAS – Foreign Agricultural Service) [<https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/>].

*Веб-сервис Crop Explorer* в режиме реального времени содержит информацию о глобальном состоянии растительности на основе спутниковых снимков и данных о погоде. Тематические карты основных районов выращивания сельскохозяйственных культур отражают условия вегетации, осадки, температуру и влажность почвы. Графики временных рядов показывают данные о вегетационном сезоне для конкретных агрометеорологических зон. Региональные кадастры культур и карты посевных площадей также доступны для отдельных регионов.

Тематические карты формируются на региональном уровне и могут быть отображены за любой 10-ти дневный период в текущем вегетационном сезоне.

Исторические данные доступны по запросу. Тематические карты сгруппированы по трем категориям: текущая погода; модели влажности почвы и урожая сельскохозяйственных культур; индексы растительности. Например, для субъектов Российской Федерации доступна информация об осадках, средней, максимальной и минимальной температурах воздуха, влажности почвы, числе засушливых дней и вегетационном индексе NDVI. По России в целом представлена информация о среднем за пять лет валовом сборе основных сельскохозяйственных культур озимой и яровой пшеницы; ячменя, кукурузы, проса, овса, рапса, сои, подсолнечника, риса. Составлены краткие обзоры о прогнозируемой урожайности некоторых культур по федеральным округам России.

Для примера на рис. 7 представлены данные о среднем валовом сборе яровой пшеницы за 2011–2015 гг.

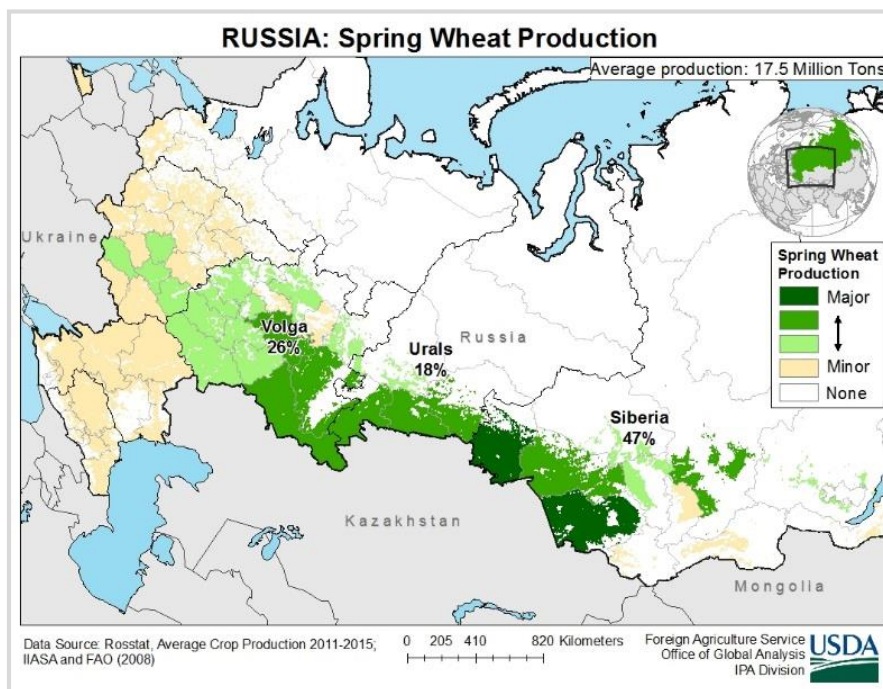


Рис. 7. – Валовой сбор (млн. тонн) яровой пшеницы за период 2011–2015 гг. по территории России по данным веб-сервиса Crop Explorer.

Следует отметить, что данная система ориентирована на пользователя, которому нужны обобщенные данные в целом о сельскохозяйственной ситуации страны, но она не подходит для использования в оперативной практике агрометеорологического обслуживания АПК страны, так как не представляет данные в разрезе субъектов.

В целом направление, связанное с использованием спутниковых данных для мониторинга состояния и продуктивности посевов, активно развивается – появляются новые спутники и новая информация, усовершенствуются и разрабатываются новые алгоритмы обработки информации, повышается точность интерпретации. Однако существующие на сегодняшний день основные системы мониторинга посевов не содержат данные по оценке состояния озимых культур осенью (в том числе площади с плохим состоянием) ко времени прекращения вегетации, а для нашей страны, особенно для южной половины европейской части, где часты засухи, эти данные весьма актуальны.

## **Глава 2. Возделывание озимых зерновых культур в условиях изменения климата**

В настоящее время общепризнано, что глобальное изменение климата и его влияние на окружающую среду является одной из главных проблем XXI века. Участвовавшие в ряде районов Планеты засухи, стихийные лесные пожары, ураганы, сильные ливни и наводнения увеличивают масштабы социально – экономических потерь, а также затрат на решение задач, связанных с этими проблемами [Shaimardanov и др., 1994; Philander, 1998; Бедрицкий, Коршунов и др., 2000; Бедрицкий, Коршунов и др., 2004; Salinger J. и др., 2005; Шмакин, 2005; Keith Menzie, 2007; Шерстюков, 2008, 2017]. Главным фактором наблюдаемых изменений климата на преобладающей территории Российской Федерации признается прогрессирующее потепление, особенно в последние десятилетия, что уже в настоящее время вызывает необходимость учитывать этот фактор в деятельности погодозависимых отраслей экономики, среди которых одно из первых мест занимает агропромышленный комплекс [Dmytrenko и др., 2001; Frich P. и др., 2002; Якушев, Иванов, 2011; Сиротенко, Абашина и др., 2013]. В материалах второго Оценочного доклада (ОЦД) Росгидромета [2014] отмечается, что в «в последней четверти XX века – начале XXI века для формирования продуктивности сельскохозяйственных культур в России благоприятными факторами оказались рост теплообеспеченности, повышение средней температуры холодного периода года, увеличение продолжительности вегетационного периода». Изменение увлажненности на территории сельскохозяйственных районов в целом тоже были благоприятными, кроме отдельных районов Сибири и Чернозёмного центра. Негативным последствием наблюдаемого потепления является смещение к северу и востоку зон обитания и массового размножения некоторых вредителей и зон распространения возбудителей болезней сельскохозяйственных растений. Приведенные во втором ОЦД результаты исследований по изменению климата и предложенные в нем необходимые меры адаптации сельского хозяйства к наблюдаемым изменениям относятся в основном к крупным регионам и, на наш взгляд, должны дополняться региональными исследованиями. Это связано с тем, что для России с её чрезвычайно выраженной природно-климатической зональностью



изменение термического режима и особенно режима увлажнения и других агроклиматических характеристик в различных районах существенно различаются по своему характеру [Иванов, 2004; Вильфанд, Страшная, Береза, 2016]. Эти изменения и различия, прежде всего в количественном аспекте, как и исследования по изменению агроклиматических условий возделывания отдельных культур или групп культур (озимые, ранние яровые, поздние яровые и др.) прежде всего необходимы для разработки неотложных практических мер по адаптации сельскохозяйственного производства к меняющимся климатическим и агроклиматическим ресурсам отдельных территорий или регионов, а также выработке конкретных рекомендаций [Страшная, Максименкова, Богомолова, Чуб, 2010, Страшная и др., 2011]. Таких исследований пока проведено мало.

В большинстве известных работ исследования изменений климата проводились в основном для крупных регионов в разрезе сезонов года и года в целом [Schwartz M., 1994; Hart J., 1995; Мирвис и др., 1996; Menzel A., Fabian P., 1999; Hudges L., 2000; Peñuelas P. и др., 2001; McCarthy J.J. и др., 2001; Золотокрылин и др., 2003, 2007; Семенов и др., 2006; Груза и др., 2010; Груза, Ранькова, 2012; Семенов, Груза и др., 2013; Сиротенко, 2007; Сиротенко и др. 2013; Шерстюков, 2017]. В то же время стратегия адаптации земледелия к изменению климата предполагает проведение исследований по оценке последствий наблюдаемых и прогнозируемых климатических изменений и связанной с ними устойчивости производства как общей продукции растениеводства, так и продуктивности отдельных сельскохозяйственных культур или групп культур не только на федеральном, но и на уровне субъектов России, где эта стратегия может быть разной в связи с большим разнообразием агроклиматических ресурсов и их динамикой [Вильфанд, Страшная, Береза, 2016].

Для формирования структуры посевных площадей в том или ином регионе, хозяйствующему субъекту необходимо знать, как изменились в количественном отношении климатические условия не только сезонов года в целом, но и их изменения внутри вегетационного или осенне-зимнего периодов. Так, например, если увеличивается повторяемость весенне-летних засух (май–июнь), это неблагоприятно для ранних яровых зерновых культур и предпочтение в

севооборотах следует отдать более поздним культурам. При увеличении засух в июле-августе, наоборот, выгоднее больше площадей занимать ранними яровыми зерновыми культурами и т.д. [Страшная, Максименкова, Богомолова, Чуб (Береза), 2010; Вильфанд, Страшная, Береза; 2016].

При этом весьма важно знать, как изменилась сумма активной температуры выше  $10^{\circ}\text{C}$  – основной показатель агроклиматических ресурсов в вегетационный период в условиях потепления климата.

Наши исследования термических ресурсов были проведены за период с 1966 по 2015 гг. Результаты их показали, что на преобладающей территории европейской части России за последние 50 лет ресурсы тепла существенно изменились, но в разных регионах они были различными.

На рис. 8 показаны изменения сумм активной температуры выше  $10^{\circ}\text{C}$  (в среднем по субъектам) за период с 1991–2015 гг. по сравнению с периодом 1966–1990 гг.

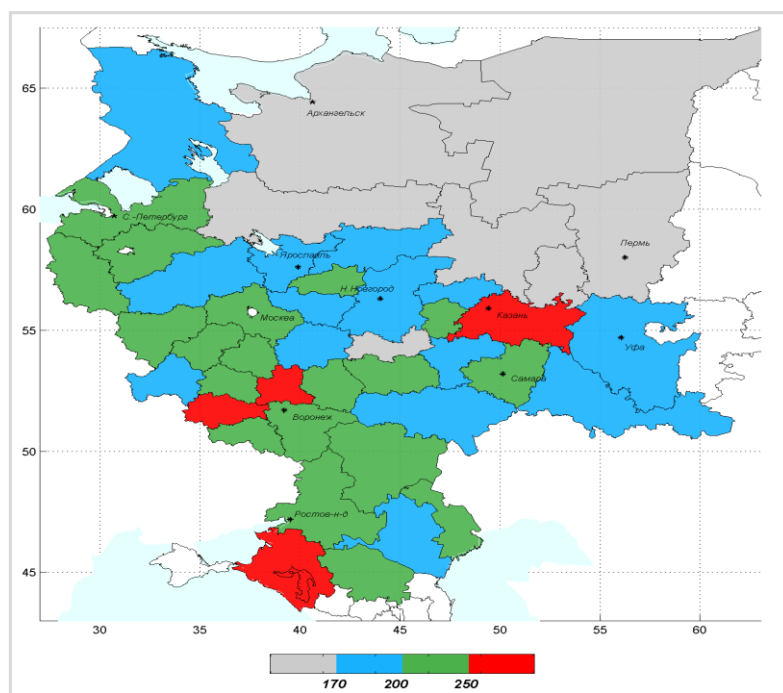


Рис. 8. – Изменение сумм активной температуры воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  в период 1991–2015 гг. по сравнению с периодом 1966–1990 гг.

Значительные изменения (увеличение сумм активной температуры воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  на  $190\text{--}240^{\circ}\text{C}$  и более) произошли в большинстве субъектов Центрального и Приволжского федеральных округов, на западе Северо-Западного, а

также в Южном и Северо–Кавказском федеральных округах. В северо–восточных районах территории изменение было небольшим ( $\leq 170$  °С). Результаты расчётов позволяют сделать важный для практики вывод о том, что северная граница сумм температуры выше 10 °С, равная, например, 2400–2450 °С, обеспеченная в 80-90 % лет, в настоящее время существенно, почти на 300 км, продвинулась к северу и проходит по южным районам Брянской, Орловской, Рязанской областей, Республики Мордовия и далее к югу от Казани, Бугульмы (Республики Татарстан) и Уфы (Республика Башкортостан). В этих районах появилась возможность возделывать более теплолюбивые культуры, что весьма выгодно хозяйствующим субъектам.

В южных районах Европейской территории России в связи с большими суммами тепла, остающегося после уборки основных зерновых колосовых культур, появляется возможность для расширения посевов вторых (пожнивных) культур, что способствует более рациональному землепользованию и увеличению выхода растениеводческой продукции. Так, например, на большей части Южного федерального округа после уборки основной культуры – озимой пшеницы, по расчётам, остается еще сумма тепла выше 10 °С, равная 1400–1800 °С, что достаточно для созревания такой ценной белковой культуры, как горох, причем не только раннеспелых, но и среднеспелых сортов. Положительные последствия потепления климата характерны в разной степени для большинства районов европейской части России. Однако в ряде районов они таковыми не являются, о чем будет сказано ниже.

## **2.1. Изменение теплового режима и режима увлажнения в период сева и осенней вегетации озимых зерновых культур**

Как известно, урожайность и валовой сбор озимых зерновых культур зависят не только от условий весенне-летней вегетации, но и от условий осенне-зимнего периода. При неблагоприятных условиях зимовки площадь гибели озимых к началу вегетации значительно увеличивается, что обуславливает снижение валового сбора зерновых культур. Большой вклад в исход зимовки озимых культур вносят сроки и условия сева и осенней вегетации растений, которые определяют их состояние после

прекращения вегетации [Моисейчик, 1956, 1975, 1978]. В зависимости от этих условий он колеблется от 15 до 40 %.

Известно, что площадь озимых зерновых культур в плохом состоянии весной ( $S_B$ ), как и других травянистых растений, включает в себя площадь с плохим состоянием посевов осенью ( $S_0$ ) и площадь повреждений их в зимний период ( $S_3$ ), т.е.

$$S_B = S_0 + S_3 \quad (2)$$

Чаще всего большая  $S_0$  из-за засух в период сева и вегетации растений осенью (август–сентябрь), наблюдается в Чернозёмной зоне. Наиболее характерно это для южной половины Приволжского, юго-востока Центрального и северных районов Южного федерального округа, что негативно сказывается на площади озимых в плохом состоянии осенью в целом по России. Для северных районов Южного федерального округа, например, разработаны методы, позволяющие рассчитать в годы сильных осенних засух возможную площадь недосева озимых, оставив её для сева яровой пшеницей, т.к. изреженные из-за засухи посевы озимой пшеницы в такие годы дают меньший урожай, чем яровая пшеница [Свисюк, 1980]

На рис. 9 показана динамика площади с плохим состоянием озимых осенью ( $S_0$ ) и весной ( $S_B$ ) по Российской Федерации. Можно отметить, что за период с 2004/05 г. по 2014/15 г.  $S_0$  в целом по Российской Федерации увеличивалась со скоростью 0,34 % в год от 5,5% в начале периода до 9,0 % в конце. Увеличение  $S_0$  отмечалось в большинстве субъектов южной половины европейской территории России, где нередки засушливые условия в период сева и вегетации растений осенью.

Динамика площади с плохим состоянием озимых культур осенью ( $S_0$ ) в качестве примера по Ростовской и Кировской областям показана на рис. 10, где видно, что в Ростовской области, где часто наблюдались засушливые условия в период сева и осенней вегетации,  $S_0$  увеличилась к концу рассматриваемого периода, а в Кировской области, где увлажнение в большинстве лет было достаточным,  $S_0$  в среднем даже заметно уменьшалась.

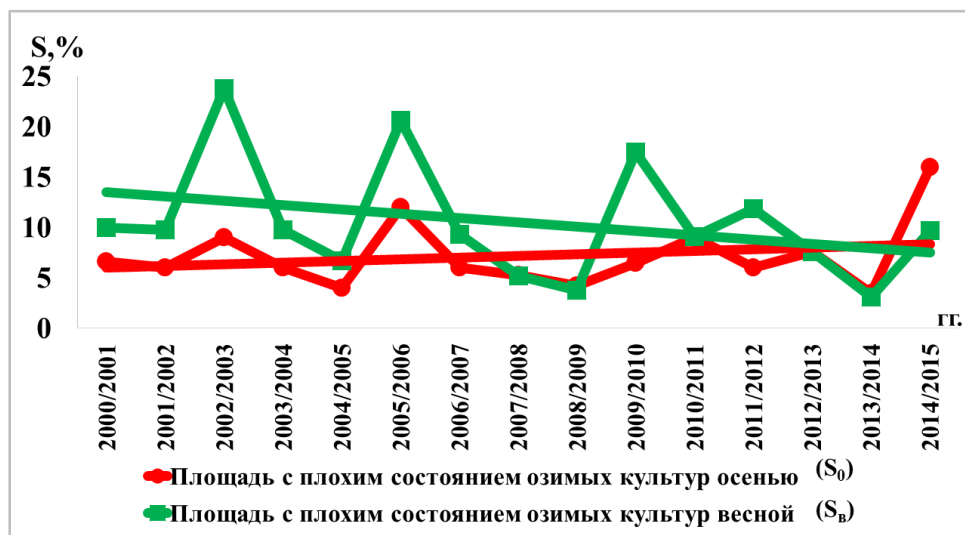


Рис. 9. – Динамика площади с плохим состоянием озимых зерновых культур осенью ( $S_0$ ) и весной ( $S_в$ ), в % от общей посевной площади по России и линии трендов за период с 2004 по 2015 гг.

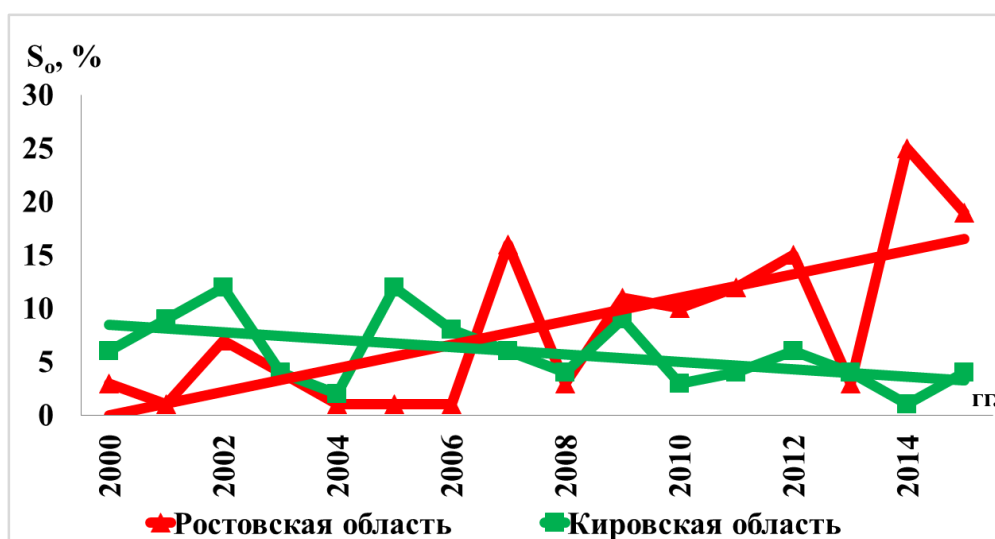


Рис. 10. – Динамика площади с плохим состоянием озимых зерновых культур осенью ( $S_0$ ), в % от общей посевной площади по Ростовской и Кировской областям и линии трендов за период с 2000 по 2015 гг.

Как указывают многие исследователи, основной причиной плохого состояния озимых культур осенью являются засухи [Моисейчик, 1968, 1975; Грудева, 1966; Свисюк, 1980, 1989; Страшная, Максименкова, Чуб (Береза), 2009, 2011, 2013]. Для определения рисков засух на европейской части России нами была создана база данных по основному агрометеорологическому параметру, который характеризует условия увлажнения и атмосферную засуху – гидротермическому коэффициенту

увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК), который численно равен отношению суммы осадков ( $\sum P$ ) к сумме температур ( $\sum T$ ), уменьшенной в 10 раз:  $ГТК = \sum P / 0,1 \sum T$  [Селянинов, 1958, 1966]. Расчёты велись за основной период сева и вегетации (август и сентябрь). ГТК за эти месяцы рассчитывались в среднем по субъектам Центрального, Приволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Проведенный анализ значений ГТК по годам показал, что наибольшие площади с плохим состоянием посевов наблюдались в годы сильных засух, т.е. когда значение ГТК в среднем по субъектам было 0,60 и менее. Так, например, за последние десять лет значительные площади с плохим состоянием озимых в Российской Федерации (до 10–15 % от общей посевной площади, а в ряде субъектов Чернозёмной зоны до 20–30 %) наблюдалась в условиях сильных засух в этих субъектах осенью 2005, 2009 и 2015 годов.

В связи с изложенным по каждому субъекту указанных выше округов за период с 1966 по 2015 гг. нами были рассчитаны риски (вероятность, %) сильных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) в августе и сентябре (Таблица 3).

Из таблицы видно, что вероятность (%) сильных засух в августе во всех округах значительно превосходит вероятность этого опасного агрометеорологического явления в сентябре, при этом наиболее часто сильные засухи наблюдаются в юго-восточных районах Приволжского федерального округа и северных районах Южного. Так, в Оренбургской, Саратовской, Волгоградской и Ростовской областях сильные засухи в августе наблюдались в основном в 6–7 годах из 10 лет, в Самарской, Ульяновской, Пензенской, Белгородской, Воронежской, Тамбовской, Липецкой, Курской, Орловской, Тульской областях и Краснодарском крае в 3–5 годах из 10. В сентябре вероятность засух в большинстве субъектов не превышает 10–18 %, однако в Самарской, Саратовской, Оренбургской, Тамбовской, Белгородской, Воронежской и Ростовской областях такие засухи в сентябре наблюдались в 32–36 % лет, что создавало крайне неблагоприятные агрометеорологические условия для сева, появления всходов и развития озимых культур, обуславливая изреженность посевов и резкое ухудшение их состояния к концу вегетации.

Таблица 3. Риски (вероятность, %) сильных атмосферных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) за период 1966–2015 гг.

Центральный федеральный округ		
Субъект	вероятность, %	
	август	сентябрь
Белгородская область	40	32
Брянская	20	16
Владимирская	22	6
Воронежская	50	36
Ивановская	16	10
Калужская	24	8
Костромская	8	4
Курская	32	20
Липецкая	30	20
Московская	12	4
Орловская	30	10
Рязанская	20	16
Смоленская	12	8
Тамбовская	44	34
Тверская	6	2
Тульская	30	12
Ярославская	10	2
Приволжский Федеральный округ		
Республика Башкортостан	18	16
Марий-Эл	16	14
Мордовия	26	18
Татарстан	26	18
Чувашия	26	20
Удмуртская Республика	14	8
Кировская область	6	2
Нижегородская	16	10
Оренбургская	58	36
Пензенская	30	20
Самарская	38	34
Саратовская	56	34
Ульяновская	34	20
Пермский край	10	6
Южный и Северо-Кавказский федеральные округа		
Республика Калмыкия	84	70
Волгоградская область	70	54
Ростовская	78	36
Краснодарский край	50	28
Ставропольский край	38	40

Сроки сева в таких случаях обычно сдвигаются на более поздние, что создает условия для слабого развития растений к концу вегетации и, следовательно, увеличивает вероятность их повреждений в зимний период. На юге Южного

федерального округа и в Ставропольском крае в сентябре риски сильных засух почти такие же, но в этих районах осень более продолжительна, что позволяет сеять озимые в октябре, а в отдельные годы и в ноябре, и к концу вегетации они достигают нормального развития.

На рис. 11 показано изменение вероятности сильных засух в августе за период 1982–1998 гг. по сравнению с периодом 1999–2015 гг. Можно отметить, что в большинстве субъектов вероятность (%) сильных засух в августе увеличивалась (как показали расчёты, в основном на 11–20 % и более), что сказывалось на увеличении площади с плохим состоянием, ко времени прекращения вегетации. Это хорошо видно на примере Ростовской области, где за последние 15 лет вероятность засух в августе увеличивалась, увеличивалась и площадь озимых культур с плохим состоянием в конце вегетации, что хорошо видно на рис. 10.

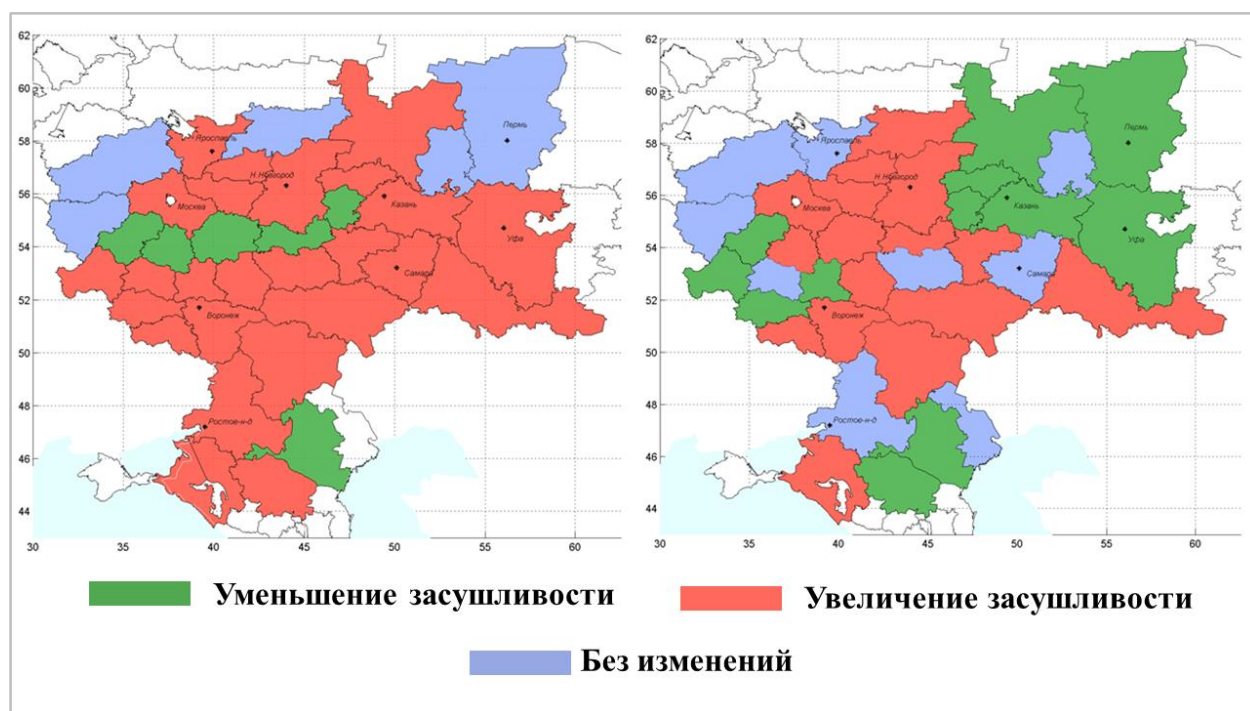


Рис. 11. – Изменение рисков сильных атмосферных засух в августе (а) и сентябре (б) за период с 1999–2015 гг. по сравнению с 1982–1998 гг.

Можно также констатировать, что не изменилась вероятность таких засух в августе в эти периоды лишь на крайнем северо-востоке территории (Пермский край, Удмуртская Республика и Костромская область), где они весьма редки, и на северо-западе (Тверская, Смоленская области). В Калужской, Тульской, Рязанской



областях, в Республиках Мордовия и Чувашия вероятность сильных засух в августе, напротив, несколько уменьшилась (как показали расчёты, в основном на 6–10 %). В сентябре, когда вероятность засух практически повсеместно в озимосеющих районах уменьшается, изменение их частоты более разнонаправленно. Так, например, в Ростовской области повторяемость сильных засух в сентябре уменьшилась, тогда как в августе, напротив, она увеличивалась.

Изменчивость значений ГТК по годам (среднее квадратичное отклонение этого показателя) во втором периоде, как показали расчеты, также увеличилась, особенно в субъектах, где засухи наиболее часты (в южной половине Приволжского, на юго-востоке Центрального и севере Южного федеральных округов).

В Таблице 4 в качестве примера показаны средние значения ГТК и среднее квадратическое отклонение (СКО) этого показателя, рассчитанное по годам за 1982–1998 и 1999–2015 гг. по Центральному федеральному округу. Можно отметить, что во втором периоде в большинстве субъектов округа среднее значение ГТК в августе было существенно меньше, чем в первом, т.е. увлажнение в этом периоде в целом уменьшилось. Изменчивость условий увлажнения (изменчивость ГТК) существенно увеличилась в основном в черноземных областях, а также в Орловской, Тульской, Рязанской областях. В большинстве нечернозёмных областей округа изменчивость во втором периоде была в основном меньше, чем в первом. Наибольшее увеличение СКО во втором периоде наблюдалось в Курской, Липецкой и Тамбовской областях (на 30–45 %), в Воронежской и Белгородской областях на 13–17 %.

В условиях увеличения повторяемости (вероятности, %) сильных засух в большинстве субъектов Чернозёмной зоны возникает необходимость отодвигать сроки сева на более поздние, т.е. на сентябрь, когда условия увлажнения, по сравнению с августом, улучшаются. В связи с этим возникает необходимость рассчитать оптимальные сроки сева, которые обеспечивали бы нормальное развитие растений (кустистость 3–4 побега) ко времени прекращения вегетации. Во многих случаях сдвиг сроков сева на более поздние бывает в этих районах вполне допустим, так как в связи с наблюдаемым потеплением продолжительность осенней вегетации озимых существенно увеличилась, что показано нами в работе [Страшная,

Максименкова, Чуб (Береза), 2011] и оптимальные сроки сева в связи с этим изменились. Более подробно об изменении оптимальных сроков сева будет сказано в параграфе 3.3.

Таблица 4. Изменчивость увлажнения (СКО) в августе в Центральном федеральном округе за периоды 1982–1998 гг. и 1999–2015 гг.

Субъект	1982–1998 гг.		1999–2015 гг.	
	Среднее значение ГТК	СКО	Среднее значение ГТК	СКО
Белгородская область	0,86	0,41	0,65	0,49
Брянская	1,20	0,69	1,01	0,56
Владимирская	1,24	0,57	1,06	0,55
Воронежская	0,73	0,33	0,56	0,38
Ивановская	1,27	0,65	0,99	0,53
Калужская	1,24	0,82	1,18	0,69
Костромская	1,50	0,71	1,32	0,55
Курская	0,96	0,35	0,78	0,63
Липецкая	0,85	0,39	0,83	0,62
Московская	1,35	0,68	1,20	0,62
Орловская	1,21	0,63	0,95	0,76
Рязанская	0,92	0,43	0,99	0,51
Смоленская	1,41	0,98	1,33	0,66
Тамбовская	0,75	0,32	0,74	0,46
Тверская	1,51	0,70	1,42	0,58
Тульская	1,16	0,80	1,25	0,83
Ярославская	1,58	0,74	1,24	0,54

## 2.2. Изменение агроклиматических условий зимовки озимых зерновых культур

Как указывалось, выше, агрометеорологические условия в период зимовки в значительной степени определяют ее исход и состояние озимых к началу вегетации, что в значительной степени сказывается на величине урожайности и валовых сборов зерна этих культур.

Для большинства районов наблюдаемое увеличение повторяемости теплых зим является благоприятным фактором. Наши исследования показали, что на преобладающей части европейской территории России сумма отрицательной

температуры воздуха в период 1991–2015 гг. уменьшилась по сравнению с периодом 1966–1990 гг. на 150–200 °С и более (рис. 12), что является благоприятным фактором для зимовки озимых зерновых культур.

Такой вывод справедлив для районов, где преобладающей причиной повреждений и гибели озимых культур является вымерзание. Это большинство южных и юго-восточных районов европейской территории, где сосредоточены основные площади озимых зерновых культур. В этих районах хотя снежный покров обычно небольшой, но в условиях тёплых зим повреждения растений вследствие вымерзания происходит редко. Однако в северо-восточных районах европейской части России, где снежный покров, как правило, бывает высоким, а почва промерзает при этом не глубоко, а в отдельные годы остается даже талой, агрометеорологические условия зимовки озимых культур при потеплении, напротив, ухудшились [Вильфанд, Страшная, 2011]. Это обусловлено тем фактом, что температура почвы на глубине узла кущения озимых (3 см), которая является комплексным показателем условий зимовки, повысилась в среднем до значений, при которых в условиях длительной в этих районах зимовки происходят процессы выпревания [Моисейчик, Шавкунова, 1986]. При этом возникает необходимость подбора сортов озимых культур, устойчивых к выпреванию.

Рассмотрим более подробно изменение комплексного показателя условий зимовки озимых культур – минимальной температуры почвы на глубине залегания узла кущения. За рассмотренный нами период (с 1973 по 2014 гг.) в северо-восточных районах средняя по субъектам температура на глубине 3 см (по Кировской и Ярославской областям, например) повышалась в среднем со скоростью 0,6 °С/10 лет и в конце периода составила соответственно -3,5 °С и -3,7 °С (рис. 13).

В таких температурных условиях в период зимовки повреждения растений из-за выпревания увеличиваются [Моисейчик, 1975]. Следствием этого процесса в северо–восточных районах, как показали наши исследования, явилась положительная динамика площади озимых культур с плохим состоянием при возобновлении вегетации их весной, тогда как в большинстве субъектов Чернозёмной зоны  $S_B$  к началу весенней вегетации уменьшается.

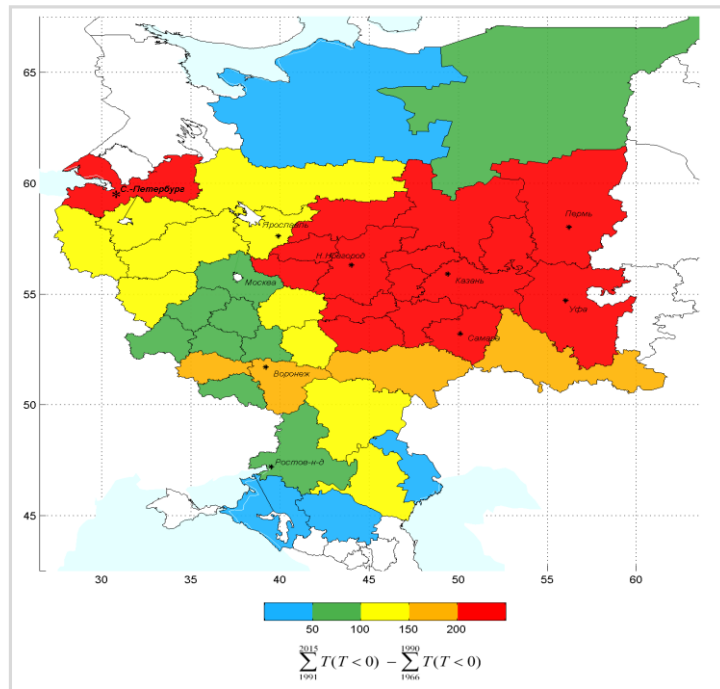


Рис. 12. – Изменение сумм отрицательной температуры воздуха (°C) в период 1991–2015 гг. по сравнению с периодом 1966–1990 гг.

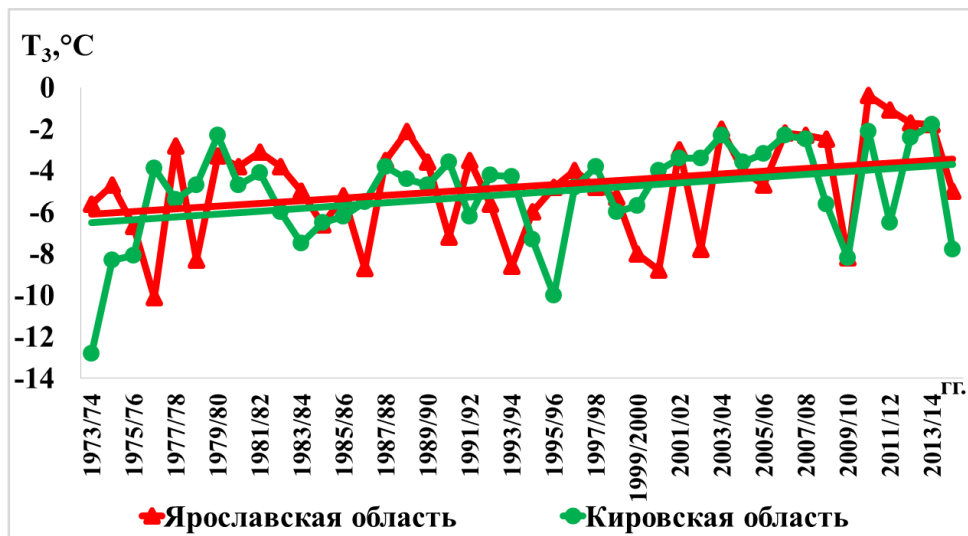


Рис. 13. – Динамика минимальной температуры почвы ( $T, ^\circ\text{C}$ ) на глубине узла кущения озимых зерновых культур (3 см) по Ярославской и Кировской областям за период 1973/74 гг по 2014/15 гг.

На рис. 14 для примера показана динамика площади озимых в плохом состоянии весной ( $S_B$ ) по Ростовской и Кировской областям. На рисунке видно, что в Ростовской области, где основной причиной повреждения озимых было вымерзание, наблюдается значительное уменьшение  $S_B$  к концу периода, вследствие

«потепления» зим и улучшения условий зимовки. В Кировской области площадь с плохим состоянием озимых культур весной, напротив, несколько увеличилась. При потеплении в таких районах условия зимовки не улучшились, так как при высоком снежном покрове в течение зимы и слабом промерзании почвы усиливались процессы выпревания растений.

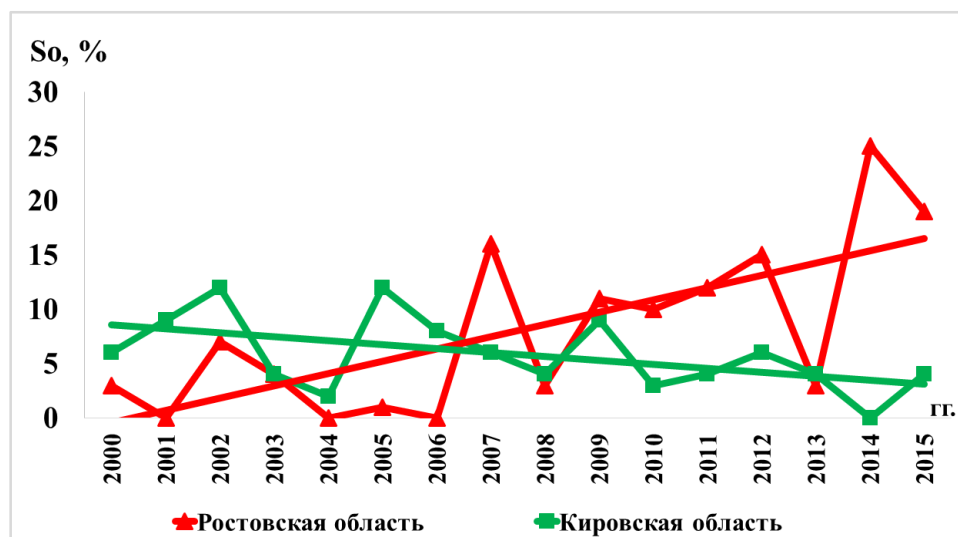


Рис. 14. – Динамика площади с плохим состоянием озимых зерновых культур весной ( $S_{\text{в}}$ ), в % от общей посевной площади по Ростовской и Кировской областям за период с 1995 г. по 2015 г.

Однако в целом по Российской Федерации площади озимых культур в плохом состоянии весной ( $S_{\text{в}}$ ) уменьшаются (рис. 9), т.к. наибольшие посевные площади озимых сосредоточены в южной половине европейской части, где основной причиной, как указывалось выше, является вымерзание при небольшом снежном покрове. Средняя температура почвы на глубине 3 см здесь также повысилась, при этом вероятность вымерзания посевов значительно уменьшилась. Это явилось благоприятным фактором и площади повреждений и гибели озимых весной ( $S_{\text{в}}$ ) в России в целом (в связи с большим удельным весом озимых в южных районах) в период наблюдавшегося «потепления зим» уменьшались, так как в отдельные периоды потеплений в зимний период растения возобновляли вегетацию, а на части полей очень поздних сроков сева появлялись всходы. Площадь с плохим состоянием озимых культур весной ( $S_{\text{в}}$ ) в целом по Российской Федерации за период с 2004/2005

г. по 2014/2015 г. уменьшилась с 12 % (от общей посевной площади) в начале периода до 7,5 % в конце его (рис. 9).

### **2.3. Динамика условий увлажнения в весенне – летний период вегетации**

Как известно, одной из наиболее важных стратегических задач АПК России является устойчивое производство зерновых культур для обеспечения потребностей населения и достижения приемлемого уровня продовольственной безопасности. Наблюдавшиеся значительные колебания урожайности и валовых сборов зерна в нашей стране обусловлены в основном сильными засухами [Алпатьев, Иванова, 1958; Мещерская, 1988; Уланова, Страшная, 2000; Гельвер, Семенов, 2005; Страшная, Коренкова, 2005; Страшная, Богомоллова, 2005; Страшная и др., 2011; Фролов, Страшная, 2011]. Они не только снижают урожайность зерновых культур, но и вызывают гибель посевов на больших площадях. Так, в 2009 году от засухи погибли посевы (в основном зерновых культур) на площади 4,48 млн. га, в наиболее жестокую засуху 2010 года гибель посевов наблюдалась на площади 13,3 млн. га, в менее обширную и менее интенсивную засуху 2012 года посевы погибли на площади 5,75 млн. га, а в условиях локальных засух 2013 и 2015 гг гибель посевов составляла соответственно 2,4 млн. га и 2,0 млн. га.

На рис. 15 (а) показана динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур (с посевной площади) в Российской Федерации за последние 35 лет. На основании анализа этой динамики можно судить как о росте урожайности в целом за период (линия тренда), так и о потерях (значительном снижении урожайности, и, следовательно, крупных недоборах зерна по сравнению с общей положительной тенденцией урожайности за этот период). На основе анализа приведенных на этом же рисунке кусочно-линейных трендов за отдельные периоды, когда происходили структурные изменения в сельскохозяйственной отрасли в связи с ухудшением материально-технической базы хозяйств, снижением количества вносимых удобрений, урожайность почти повсеместно резко снижалась. Так, в менее сильную и обширную засуху 1998 г., например, урожайность зерновых культур была на 35 % ниже, чем в наиболее жестокую, но наблюдавшуюся при более высоком агротехнологическом фоне засуху 2010 г. Аналогичная ситуация выявляется и при

анализе динамики урожая озимой пшеницы (рис. 15, б) – основной зерновой культуры, которая, в благоприятные годы даёт около до 40–45 % валового сбора зерна в стране.

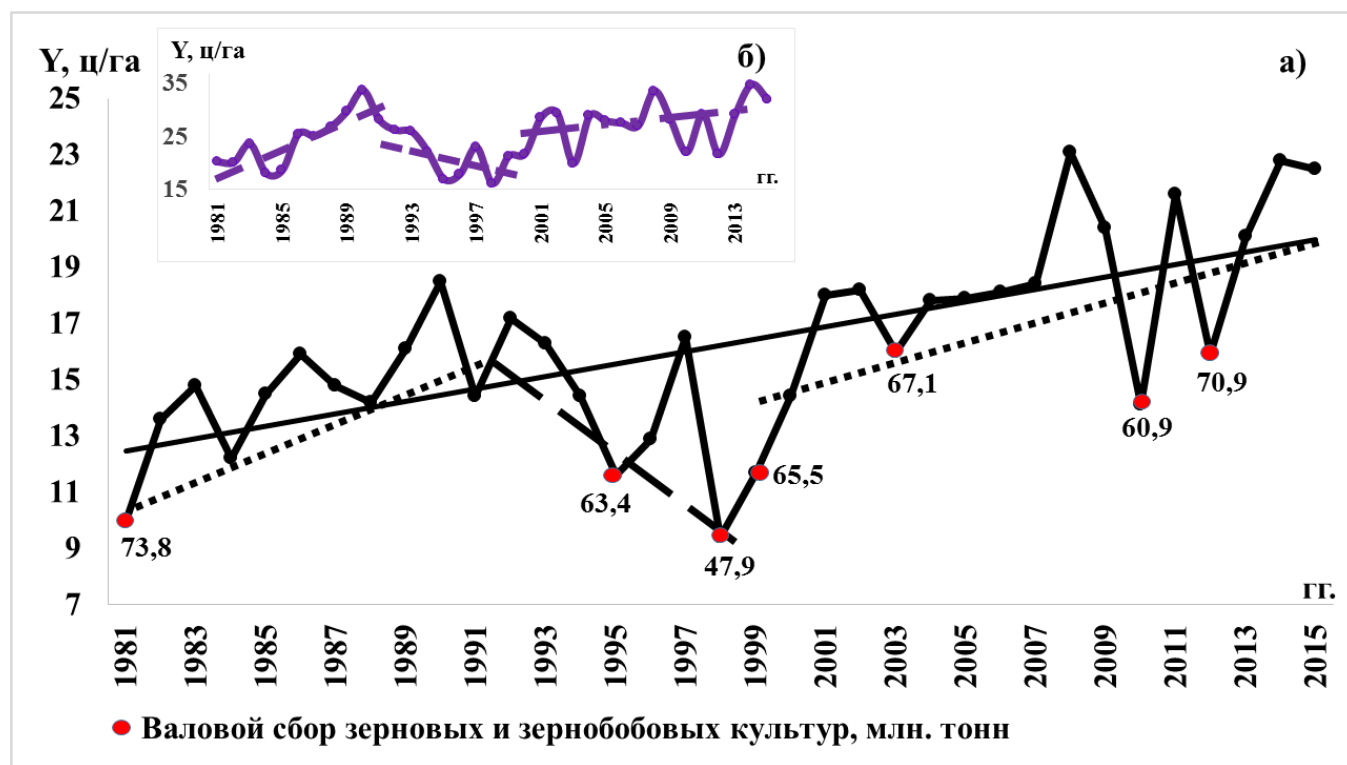


Рис. 15. – Динамика урожайности (ц/га, с посевной площади) зерновых и зернобобовых культур (а) и озимой пшеницы (б) за период с 1981 по 2015 гг.

Как отмечалось в параграфе 1.1, основная площадь озимой пшеницы сосредоточена на европейской части России и в связи с этим более детально, влияние условий увлажнения и атмосферных засух на продуктивность растений нами рассматривалось в основном на этой территории.

В работах, выполненных нами, а также другими исследователями [Ливанов, 1960; Мещерская, 1988; Страшная, 1993; Уланова, Страшная, 2000; Страшная, Коренкова, 2005; Фролов, Страшная, 2011; Страшная и др., 2011] показано, что наибольшее влияние на урожайность зерновых колосовых культур, в том числе и озимой пшеницы в период весенне-летней вегетации оказывают условия увлажнения в мае – июне. На преобладающей территории Приволжского, южной половины Центрального и северных районов Южного федеральных округов эти условия можно считать наиболее важными или «критическими» для формирования урожая озимой пшеницы. Условия атмосферного увлажнения в период весенне-

летней вегетации этой культуры нами, как и в осенний период, характеризовались общепринятым в агрометеорологии и в смежных областях гидротермическим коэффициентом увлажнения Г.Т. Селянинова, или ГТК [Селянинов, 1958, 1966; Уланова, Страшная, 2000; Грингоф, Клещенко, 2011].

На первом этапе исследований условий увлажнения и засух применительно к возделыванию озимой пшеницы нами была сформирована база данных, рассчитанных в среднем по субъектам значений ГТК за май, июнь и в среднем за май – июнь за период с 1966 по 2015 гг.

По всем субъектам европейской части России за период 1971–2010 гг. были рассчитаны средние по десятилетиям этого периода значения ГТК за май и июнь (а также за последнее пятилетие 2011–2015 гг.). Полученные данные осреднялись по федеральным округам (Таблица 5).

Таблица 5. Значения гидротермического коэффициента увлажнения (ГТК) в мае и в июне в федеральных округах европейской части России (1971–2015 гг.)

Май					Июнь				
1971– 1980 гг.	1981– 1990 гг.	1991– 2000 гг.	2001– 2010 гг.	2011– 2015 гг.	1971– 1980 гг.	1981– 1990 гг.	1991– 2000 гг.	2001– 2010 гг.	2011– 2015 гг.
Центральный федеральный округ									
1,52	1,02	1,29	1,22	1,10	1,31	1,63	1,28	1,31	1,40
Приволжский федеральный округ									
1,01	1,03	1,23	1,06	0,73	1,22	1,27	1,07	1,21	1,15
Южный федеральный округ									
0,81	0,86	0,95	0,94	0,91	0,79	0,90	0,82	0,72	0,81
Северо-Кавказский федеральный округ									
1,03	1,33	1,40	1,48	1,32	0,95	1,48	1,36	1,25	1,15

Анализ приведённых данных показывает, что в Центральном федеральном округе в мае самым «сухим» было второе десятилетие (1981–1990 гг.), когда в округе наблюдались две сильные засухи (1981 и 1984 гг.). В Приволжском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах наиболее сухим в этом месяце было первое десятилетие (1971–1980 гг.), когда сильные засухи наблюдались в 1972, 1975 и 1979 гг. Отметим, что в Приволжском федеральном округе сухим оказалось и последнее пятилетие, когда сильная засуха (в основном в юго-восточной половине округа) наблюдалась в 2012 г., а на юге округа и в 2013 г. В июне в Центральном и Приволжском федеральных округах самым сухим было десятилетие 1991–2000 гг.,



засухи в этих округах наблюдались в 1995, 1998 и 1999 гг., а в Приволжском федеральном округе и в 1991 г. В Южном федеральном округе очень сухим в июне оказалось десятилетие 2001–2010 гг., сильные засухи и недобор урожая озимой пшеницы здесь наблюдался в 2002, 2003, 2007 гг., а в Северо-Кавказском федеральном округе (Ставропольский край) наиболее засушливым был период 1971–1980 гг., когда сильные засухи отмечались в 1975, 1979 годах. Из приведенных данных следует, что чёткой тенденции в условиях увлажнения по округам в целом по десятилетиям не выявлено и для оценки засушливости территорий и применения в практических целях таких данных недостаточно, в основном в связи с их малой информативностью из-за осреднения очень разных по увлажнению территорий в округах. Так, в Южном и Приволжском федеральных округах различия в условиях увлажнения в южных и северных районах этих округов весьма значительны, а осреднение нивелирует различия в агроклиматических ресурсах территорий.

Как отмечалось выше, наибольшее влияние на урожайность зерновых колосовых культур в основных зерносеющих районах европейской части России оказывают условия увлажнения в мае–июне. Влияние увлажнения на урожайность озимой пшеницы в современных изменившихся агрометеорологических условиях (1991–2015 гг.) в качестве примера показано на рис. 16 по Республике Татарстан и Оренбургской области, где приводятся зависимости урожайности этой культуры от среднего за май-июнь гидротермического коэффициента ( $ГТК_{V-VI}$ ).

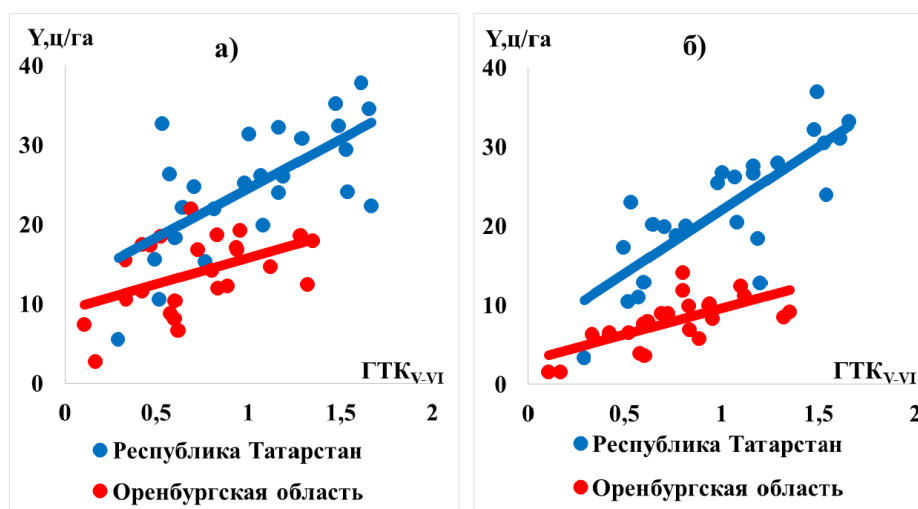


Рис. 16. – Зависимость урожайности озимой пшеницы (а) и яровой пшеницы (б) от ГТК за май-июнь по Республике Татарстан и Оренбургской области.

Отметим, что связь урожайности озимой пшеницы с  $ГТК_{V-VI}$  в ряде субъектов этого округа выражена несколько слабее, чем с яровой пшеницей, коэффициент детерминации в рассчитанных линейных уравнениях для озимой пшеницы не превышает 0,38–0,47, и примерно лишь до 40–45 % изменчивости урожайности по годам описываются условиями увлажнения в мае-июне. Это можно объяснить большой ролью весенних влагозапасов в почве, когда озимая пшеница в мае в большинстве районов уже активно вегетирует и хорошо использует весеннюю влагу, а яровая пшеница только сеется. Большое влияние на будущую урожайность озимой пшеницы оказывают, как известно, и осенне-зимние условия.

Засушливость территорий обычно характеризуют, основываясь на анализе повторяемости как сильных, так и средних атмосферных засух. Как известно, сильные засухи за любой период (не менее месяца) характеризуются  $ГТК \leq 0,60$ , средние –  $ГТК = 0,61–0,80$  и слабые –  $ГТК = 0,81–1,00$  [Педя, 1975; Уланова, Страшная, 2000; Страшная, Коренкова, 2005; Грингоф, Клещенко, 2000, 2011]. Наибольшие потери зерна обуславливают сильные засухи, а в ряде случаев и средние. Слабые засухи обычно мало влияют на урожайность зерновых культур.

На европейской части России засушливость с точки зрения влияния её на формирование урожая озимой пшеницы характеризовалась нами на основе проведенных расчетов рисков (вероятности, %) сильных и средних засух без их разделения (т.е. рисков  $ГТК_{V-VI} \leq 0,80$ ). Вероятность таких засух за период с 1966 по 2015 гг. в мае-июне представлена на рис. 17.

Из анализа рис. 17 можно сделать вывод, что риски этих засух в мае-июне (т.е. вероятность значений  $ГТК_{V-VI}$ , равных 0,80 и менее) в Республиках Татарстан, Мордовия, в Самарской, Ульяновской, Пензенской, Тамбовской, Воронежской и Ростовской областях значительны и наблюдаются в трех-пяти годах из десяти. Наиболее значительные риски засух (в шести годах из десяти и более) наблюдаются в Саратовской, Оренбургской, Волгоградской областях и в Республике Калмыкия. Эта территория на европейской части России самая засушливая и наиболее важным мероприятием для адаптации к наблюдающимся засушливым условиям является мелиорация. В Курской, Калужской, Белгородской, Орловской, Липецкой, Тульской, Рязанской, Ивановской, Владимирской, Нижегородской областях,

Республиках Марий Эл, Чувашия, Башкирия и Удмуртия, а также в Краснодарском и Ставропольском краях вероятность таких засух составляет в основном 15–20 %, а на остальной территории основных зерносеющих районов европейской части она не превышает 4–10 % (в Тверской области за рассматриваемый период такой длительной засухи не наблюдалось).

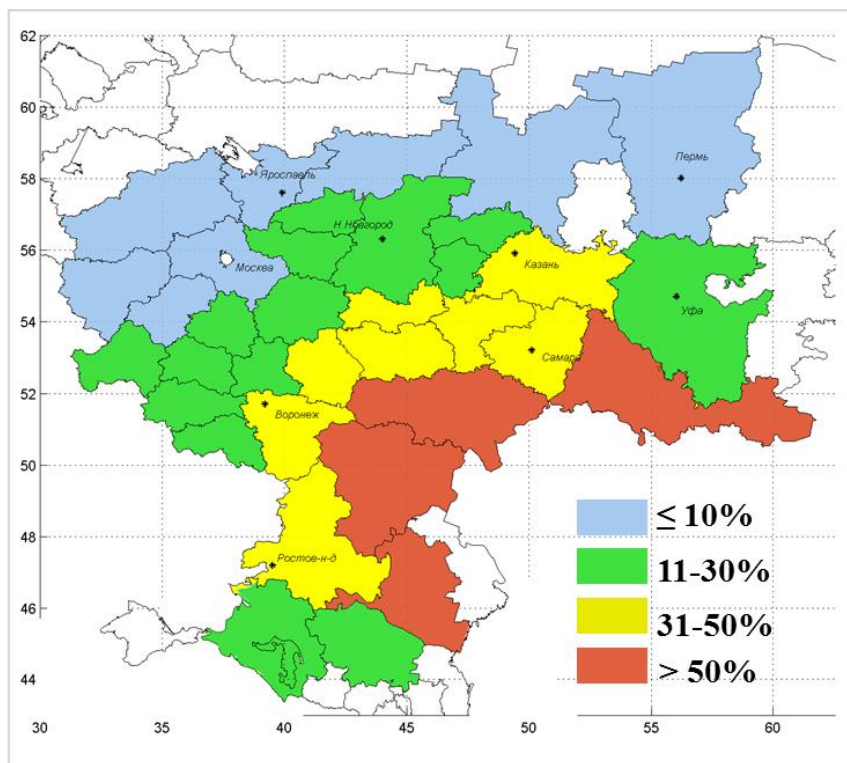


Рис. 17. – Вероятность (%) сильных и средних атмосферных засух ( $GDK \leq 0,80$ ) в мае–июне за период 1966–2015 гг.

В практическом земледелии для принятия оптимальных решений по адаптации к меняющимся агроклиматическим условиям важно знать не только риски засух в количественном выражении за какой-то период, но и их динамику или тенденцию изменений. Целесообразно, на наш взгляд, рассматривать её за более короткий (тридцатилетний) период.

С этой целью нами были рассчитаны риски сильных и средних засух в мае – июне ( $GDK \leq 0,80$ ) за период 2001–2015 гг. по сравнению с 1986–2000 гг. Результаты расчётов показаны на рис. 18.

Оказалось, что на территории Центрального федерального округа риски таких засух в 2001–2015 гг. увеличились по сравнению с 1986–2000 гг. на 7–20 % лишь в Московской, Владимирской, Ивановской и Костромской областях. В Тверской,

Брянской, Липецкой и Воронежской областях они практически не изменились, а на остальной преобладающей территории округа риски средних и сильных засух уменьшились на такую же величину. В Приволжском федеральном округе увеличение рисков таких засух на 7–20 % наблюдалось в Саратовской, Оренбургской, Ульяновской областях и в Республике Чувашия (в Самарской области на 34 %), т.е. на территории, где сосредоточены основные площади озимой пшеницы. Не изменились риски этих засух в Нижегородской, Кировской областях и Республике Удмуртия, а в остальных субъектах округа во втором периоде риски уменьшились на 7–20 %. Наиболее значительное изменение рисков сильных и средних засух в мае–июне ( $ГТК \leq 0,80$ ) наблюдалось в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах, где они увеличились: в Ростовской области на 14 %, в Волгоградской области, Краснодарском и Ставропольском краях на 26–34 %. В Республике Калмыкия изменения рисков не наблюдалось.

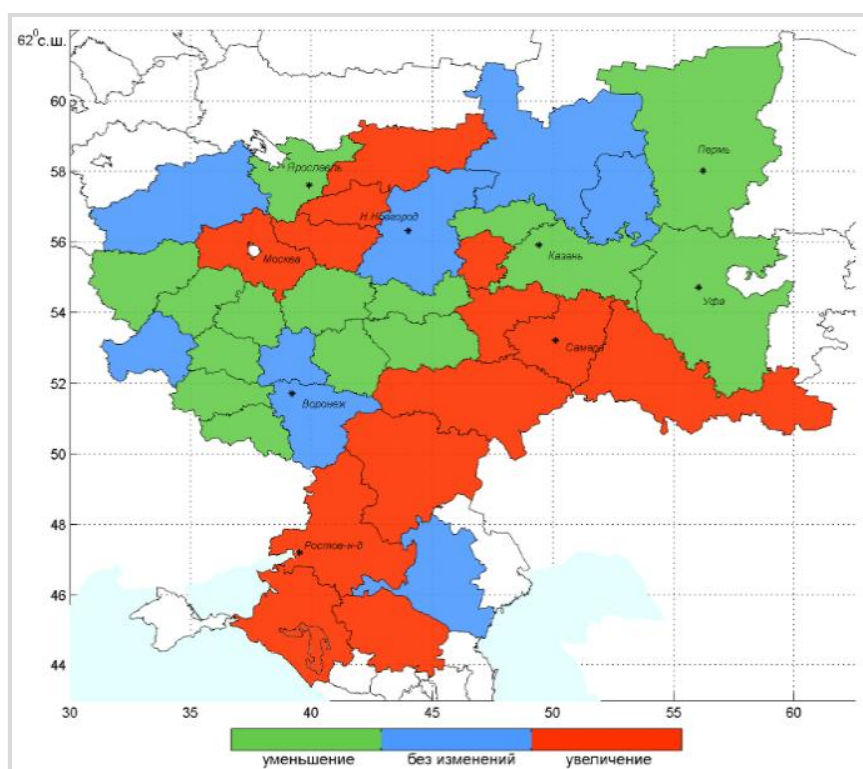


Рис. 18. – Изменение рисков (вероятность, %) сильных и средних атмосферных засух в мае–июне ( $ГТК \leq 0,80$ ) за период 2001–2015 гг. по сравнению с 1986–2000 гг.

В связи с тем, что наиболее значительные колебания (снижение) урожайности озимой пшеницы обусловлены влиянием сильных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) по субъектам европейской части России нами были рассчитаны риски (вероятность, %) таких засух в мае, июне и в среднем за май – июнь за период с 1966–2015 гг. (Таблица 6).

Из анализа этой таблицы следует, что наиболее часто сильные засухи в Центральном и Приволжском федеральных округах наблюдались в мае; в июне в большинстве субъектов этих округов риски таких засух несколько уменьшались – в основном на 7–12 %, а в Тамбовской, Пензенской, Самарской областях и в Республике Мордовия на 20–22 %. Риски сильных засух, когда значение ГТК в среднем за май – июнь было  $\leq 0,60$ , наблюдались в среднем в двух–трёх годах из десяти в Воронежской, Тамбовской, Пензенской, Ульяновской, Самарской, Саратовской, Оренбургской и Ростовской областях, Республиках Татарстан и Мордовия; в Волгоградской области и в Республике Калмыкия вероятность таких засух составляла 42–52 %, т.е. такие засухи наблюдались в 4–5 годах из десяти.

Изменения рисков сильных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) в среднем за май–июнь по субъектам европейской части России мы рассматривали также за последние тридцать лет (1986–2015 гг.), разделив этот период на два подпериода.

Таблица 6. Риски (вероятность, %) сильных засух (ГТК  $\leq 0,60$ ) в мае, июне и мае–июне за период 1966–2015 гг.

Центральный федеральный округ			
Субъект	ГТК $\leq 0,60$		
	V	VI	V–VI
Белгородская область	22	16	8
Брянская	12	6	2
Владимирская	12	10	2
Воронежская	30	28	20
Ивановская	18	16	6
Калужская	10	8	4
Костромская	2	4	2
Курская	22	10	6
Липецкая	30	20	16
Московская	16	10	2
Орловская	16	10	4
Рязанская	28	14	6
Смоленская	8	2	2
Тамбовская	40	20	18
Тверская	4	6	0
Тульская	28	10	6
Ярославская	8	10	0
Приволжский федеральный округ			
Республика Башкортостан	26	18	12
Марий–Эл	22	14	12
Мордовия	36	14	18
Татарстан	38	28	18
Чувашия	26	16	10
Удмуртская Республика	18	10	4
Кировская область	4	6	0
Нижегородская	18	8	6
Оренбургская	42	30	34
Пензенская	32	12	18
Самарская	44	22	24
Саратовская	44	36	34
Ульяновская	32	20	24
Пермский край	6	2	0
Южный и Северо–Кавказский федеральные округа			
Республика Калмыкия	54	58	52
Волгоградская область	50	48	42
Ростовская	26	26	28
Краснодарский край	8	10	6
Ставропольский	6	6	6

На рис. 19 показано изменение рисков таких засух в 2001–2015 гг. по сравнению с 1986–2000 гг.

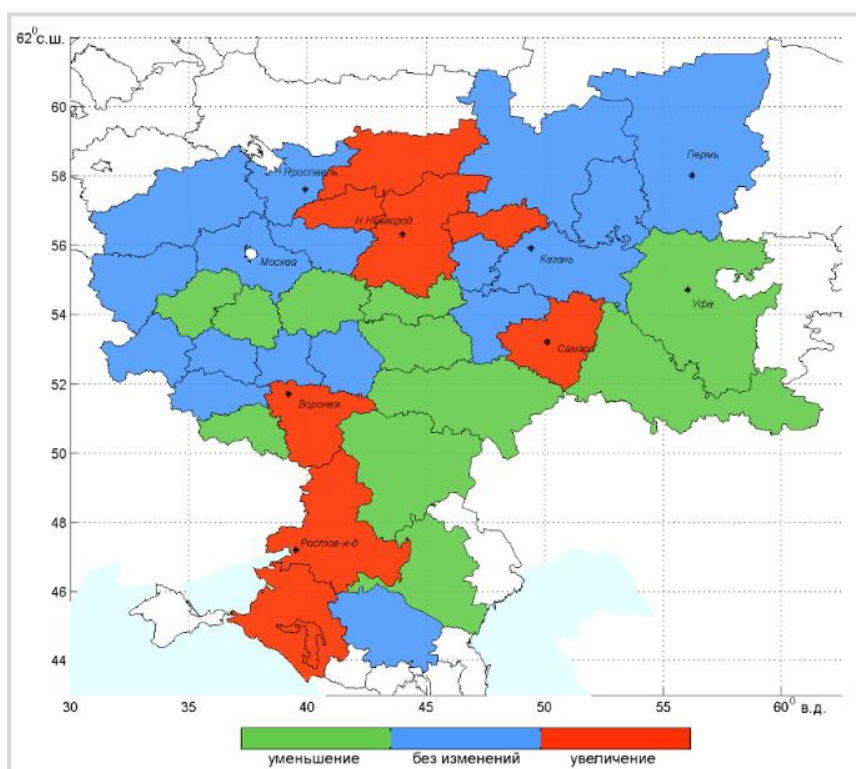


Рис. 19. – Изменение рисков сильных засух ( $GTK \leq 0,60$ ) в мае–июне в 2001–2015 гг. по сравнению с 1986–2000 гг.

Нами выявлено, что в динамике этих засух прослеживается важная особенность: на большей части Центрального и особенно Приволжского федеральных округов риски сильных длительных засух (в мае–июне) во втором периоде уменьшились (в основном на 8–14 %), либо практически не изменились. Увеличение рисков сильных засух наблюдалось в Воронежской, Самарской, Нижегородской, Владимирской, Костромской областях и в Республике Марий Эл. В Южном федеральном округе риски сильных засух почти также уменьшились (на 8–14 %) лишь в Волгоградской области и в Республике Калмыкия, однако в Ростовской области и Краснодарском крае риски таких засух, напротив, увеличились на 13–26 %. Таким образом, в разных субъектах тенденции изменений частоты (вероятности, %) сильных засух оказались разнонаправленными.

Нами также были рассчитаны средние значения GTK за май–июнь, характеризующие условия увлажнения и их изменчивость (среднее квадратическое отклонение – СКО) по субъектам Центрального, Приволжского, Южного и Северо–

Кавказского федеральных округов в 2001–2015 гг. по сравнению с 1986–2000 гг. (Таблица 7).

Как видно из Таблицы 7, значительное уменьшение ГТК и увеличение изменчивости увлажнения (увеличение СКО) во втором периоде наблюдалось в субъектах северной половины Южного федерального округа. В Ростовской области, например, СКО во втором периоде было примерно на 12 % большим по значению, чем в первом, при этом устойчивость урожаев озимой пшеницы на фоне ухудшения условий увлажнения уменьшалась. Тенденция средней по области урожайности была положительной (в основном за счет интенсивных технологий), но при этом погодичный прирост урожайности был небольшим и в целом за период урожайность увеличилась лишь на 2,0 ц/га.

В большинстве субъектов северной половины Центрального федерального округа существенных изменений средних по периодам ГТК, а также СКО практически не наблюдалось. Однако в большинстве субъектов Приволжского и на юге Центрального федеральных округов среднее значение ГТК во втором периоде уменьшалось, т.е. этот период в среднем оказался «более сухим». Хотя значения СКО в среднем также уменьшались, колебания урожайности озимой и яровой пшеницы во многих субъектах Приволжского федерального округа, как показали наши исследования, оставались значительными, а урожайность этих культур в ряде субъектов снижалась. Так, например, в Оренбургской и Саратовской областях наблюдалась тенденция некоторого снижения урожайности (со скоростью 0,17 ц/га/год и 0,34 ц/га/год соответственно). В Саратовской области, например, снижение урожайности озимой пшеницы от начала к концу периода составило 2,5 ц/га, в Оренбургской области – 3,0 ц/га (рис. 20).



Таблица 7. Изменчивость условий увлажнения в мае–июне за 1986–2000 и 2001–2015 гг.

Центральный федеральный округ				
Субъект	1986–2000 гг.		2001–2015 гг.	
	Среднее значение ГТК	Среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ )	Среднее значение ГТК	Среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ )
Белгородская область	1,19	0,38	1,08	0,28
Брянская	1,38	0,37	1,34	0,32
Владимирская	0,30	0,29	1,40	0,58
Воронежская	0,92	0,22	0,85	0,24
Ивановская	1,25	0,32	1,26	0,55
Калужская	1,49	0,39	1,49	0,34
Костромская	1,61	0,56	1,43	0,42
Курская	1,20	0,39	1,11	0,27
Липецкая	1,18	0,47	0,94	0,24
Московская	1,35	0,36	1,39	0,45
Орловская	1,31	0,37	1,19	0,28
Рязанская	1,09	0,53	1,16	0,33
Смоленская	1,53	0,49	1,60	0,52
Тамбовская	1,04	0,44	1,06	0,33
Тверская	1,51	0,55	1,58	0,32
Тульская	1,29	0,46	1,22	0,33
Ярославская	1,61	0,51	1,31	0,30

Таблица 7. Продолжение

Приволжский федеральный округ				
Субъект	1986–2000 гг.		2001–2015 гг.	
	Среднее значение ГТК	Среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ )	Среднее значение ГТК	Среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ )
Республика Башкортостан	1,05	0,45	1,12	0,45
Марий-Эл	1,13	0,40	1,06	0,42
Мордовия	1,10	0,43	1,09	0,36
Татарстан	1,05	0,42	1,03	0,41
Чувашия	1,13	0,41	1,03	0,32
Удмуртская Республика	1,37	0,55	1,27	0,49
Кировская область	1,52	0,50	1,43	0,35
Нижегородская	1,22	0,52	1,19	0,37
Оренбургская	0,75	0,37	0,72	0,32
Пензенская	1,03	0,48	1,04	0,33
Самарская	0,93	0,40	0,80	0,35
Саратовская	0,82	0,37	0,74	0,22
Ульяновская	1,14	0,53	0,91	0,35
Пермский край	1,72	0,71	1,52	0,42
Южный и Северо–Кавказский федеральные округа				
Республика Калмыкия	0,68	0,30	0,73	0,25
Волгоградская область	0,78	0,34	0,64	0,18
Ростовская	0,92	0,22	0,80	0,25
Краснодарский край	1,38	0,37	1,17	0,42
Ставропольский край	1,44	0,39	1,32	0,38

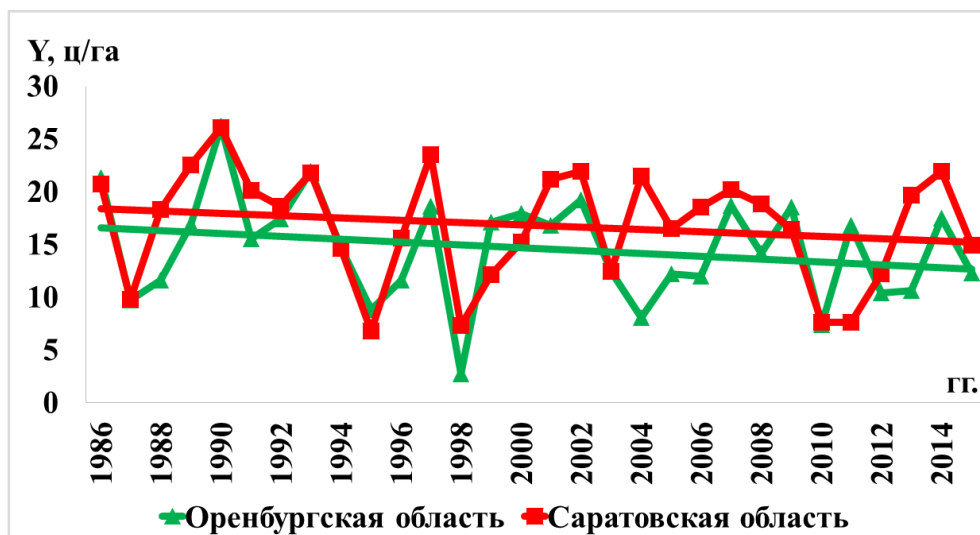


Рис. 20. – Динамика урожайности озимой пшеницы (ц/га) с посевной площади по Саратовской и Оренбургской областям и линии трендов за период с 1986 по 2015 гг.

Значительное уменьшение ГТК и увеличение изменчивости увлажнения (увеличение СКО) во втором периоде наблюдалось в субъектах северной половины Южного федерального округа. В Ростовской области, например, СКО во втором периоде было примерно на 12 % большим по значению, чем в первом, при этом устойчивость урожаев озимой пшеницы на фоне ухудшения условий увлажнения уменьшалась. В то же время тенденция средней по области урожайности была положительной (в основном за счет интенсивных технологий), но при этом погоди́чный прирост урожайности был небольшим и в целом за период с 1986 по 2015 гг. урожайность увеличилась лишь на 2,0 ц/га.

Как известно из работ [Иванов и др., 2009; Якушев, Иванов, 2011; Белолубцев, 2013; Кобышева, Васильев, 2015], применительно к задачам оценки влияния изменений климатических (агроклиматических) условий при глобальном потеплении на производство растительной продукции риск ассоциируется с вероятностью (климатической повторяемостью) потерь, превосходящих некоторый критический уровень, т.е. под риском недобора урожаев, обусловленных неблагоприятным воздействием опасного погодного явления, понимаются хозяйственно значимые отклонения урожайности в конкретном году от средней многолетней величины. Насколько близки риски сильных засух и значительного

недобора урожая (в нашем случае из-за засух), мы определили, сопоставив количественные значения вероятности сильных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) в мае–июне и недобора урожаев (отклонений урожайности от средней многолетней) озимой пшеницы за период 1986–2015 гг.

За критический уровень недобора урожая было принято отклонение средней по субъекту урожайности озимой пшеницы в конкретный год от среднего значения её за период 1986–2015 гг., равное 20 % и более, т.е. такое значение отклонения урожайности от средней, при котором в конкретном субъекте создается угроза недостатка продовольственного зерна для бесперебойного обеспечения населения и других нужд и возникает необходимость его закупки за пределами региона. Земледельцы при этом терпят убытки, особенно если посевы не застрахованы, т.к. наблюдается не только снижение урожайности, но часть посевов в условиях сильных засух может погибнуть. Повторяемость неурожайных лет (недобора урожая) рассчитывалась как отношение числа лет со снижением урожайности 20 % и более от средней многолетней за рассматриваемый период к общему числу лет за тот же период. Результаты таких расчётов приведены в Таблице 8.

Таблица 8. Риски (вероятность, %) сильных засух в мае–июне ( $ГТК \leq 0,60$ ) и отклонений урожайности озимой и яровой пшеницы, равных 20 % и более от средней за 1986–2015 гг.

Территория	Вероятность, %		
	$ГТК_{V-VI} \leq 0,60$	$\Delta Y$ , озимая пшеница	$\Delta Y$ , яровая пшеница
Республика Башкортостан	17 (23)*	23	30
Татарстан	20 (33)*	30	27
Оренбургская область	37 (43) *	27	27
Самарская	23 (27)*	27	30
Саратовская	30 (40) *	33	40
Ульяновская	20 (20) *	17	23
Воронежская	10 (17)*	20	30
Тамбовская	10 (20)*	13	33
Ростовская	20 (23) *	20	23

(\*) – вероятность  $ГТК \leq 0,60$  в июне

Можно отметить, что для засушливых территорий риски (вероятность, %) сильных засух в мае – июне ( $ГТК_{V-VI} \leq 0,60$ ), а по ряду субъектам в июне, т.е. в критические по отношению к влаге периоды, близки по величине, а в отдельных субъектах они совпадают. Например, в Саратовской области вероятность сильных засух в мае–июне ( $ГТК_{V-VI} \leq 0,60$ ) составляет 30 %, а вероятность недобора урожайности озимой пшеницы более 20 % от средней равна 33 %, а вероятность такого снижения урожая яровой пшеницы (40 %) совпадает с вероятностью  $ГТК \leq 0,60$  в июне. В Воронежской области вероятность сильных засух в июне ( $ГТК_{V-VI} \leq 0,60$ ) составляет 20 % и вероятность недобора урожайности озимой пшеницы такая же. Аналогичная ситуация наблюдается и в Ростовской области, где риски недобора урожайности для озимой пшеницы, равного 20 % и более и вероятности сильных засух в мае–июне – совпадают. Можно отметить, что для озимой пшеницы совпадение или близость по величине рисков недобора урожая и рисков сильных засух в мае – июне или в июне достаточно хорошо выражено, то для яровой пшеницы в ряде субъектов (например, Республика Башкортостан, Оренбургская, Воронежская, Тамбовская области) эти риски разнятся существенно, что, по-видимому, связано с различным удельным весом этих культур в регионе.

### **Глава 3. Сроки сева озимых зерновых культур и метод их расчёта в изменяющихся погодно–климатических условиях**

В исследованиях метеорологов и агрометеорологов изучению условий периода сева озимых зерновых культур, их роста и развития осенью в изменившихся агроклиматических условиях уделялось недостаточно внимания. В большинстве работ рассматривалось изменение температурного режима и осадков календарной осени. Однако на значительной территории озимосеющих регионов сев озимых производится уже в августе и выбор оптимальных сроков сева в меняющихся климатических условиях в период август – сентябрь, как одного из приёмов разрабатываемых в настоящее время адаптивных технологий их возделывания, является весьма актуальным.

Срок сева – один из наиболее важных факторов, определяющих степень развития озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации и исход их перезимовки. Между количеством растений, сохранившихся после перезимовки, и степенью их развития осенью имеется хорошо выраженная зависимость:  $r = 0,90$  при плохих и  $0,70$  при хороших условиях перезимовки [В.А.Моисейчик, 1975].

Оптимальные сроки сева рассчитывались по сумме активных температур  $580^{\circ}$  от даты перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  в сторону летних месяцев [Носатовский, 1950]. При расчётах оптимальных сроков сева используются также показатели сумм эффективной температуры [ШигOLEV, 1951]. Установлено, что при достаточном увлажнении почвы от посева озимых до образования у них шести побегов кустистости необходимо накопление суммы эффективной температуры (выше  $5^{\circ}\text{C}$ ), равной  $300^{\circ}\text{C}$ , для образования трёх побегов –  $200^{\circ}\text{C}$ , для начала кущения озимой пшеницы  $134^{\circ}\text{C}$ , а озимой ржи  $119^{\circ}\text{C}$  [ШигOLEV, 1957]. По этим показателям А.А. ШигOLEV рассчитал средние многолетние оптимальные и предельно поздние сроки сева озимых. Знание средних многолетних сроков сева имеет большое практическое значение, они обеспечивают нормальное развитие озимых в 50 % лет.

Для практических целей важно знать вероятность различного состояния озимых осенью при разных сроках их сева, а не только оптимальных и средних

многолетних, так как посев озимых часто продолжается в течение длительного периода. В.А Моисейчик [1975] определила обеспеченность теплом, необходимым для появления шести и трех побегов кустистости у озимых при различных сроках сева в Нижнем и Среднем Поволжье. Например, озимые, посеянные 20 августа, в 80–100 % лет обеспечены теплом для кущения до шести побегов, а при сроке сева 31 августа – только в 20–40 % лет. Т.А.Максименковой [1976] рассчитаны по зависимостям, установленным за период 1950–1975 гг. с учётом тепло- и влагообеспеченности растений, средние многолетние оптимальные (обеспечивающие кустистость 3–5 побегов), предельно ранние (6 побегов и более) и предельно поздние (обеспечивающие лишь начало кущения) сроки сева озимых. Однако в изменившиеся климатических условиях необходимы расчёты новых оптимальных сроков сева.

### **3.1. Продолжительность осеннего периода вегетации озимых зерновых культур в изменяющихся погодно-климатических условиях**

Агрометеорологические условия осенней вегетации озимых культур весьма разнообразны. На европейской территории России, в Уральском федеральном округе и в Западной Сибири условия осеннего периода имеют свои климатические особенности.

В агрономической практике считается, что сев озимых зерновых культур начинается, когда среднесуточная температура воздуха устойчиво переходит через 15 °С в сторону понижения, что принимается за начало осени [Давитая, 1966]. Заканчивается их активная вегетация, как известно, при переходе среднесуточной температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения [Грудева, 1966; Максименкова, 1976; Моисейчик, 1975; Федосеев, 1979]. В исследованиях этих авторов были установлены средние многолетние оптимальные сроки сева озимых культур для различных регионов, рассчитанные по данным наблюдений гидрометстанций, в основном, за период 1950–1975 гг. Однако в связи с потеплением климата, которое особенно проявилось с середины 1970-х годов, необходимо уточнение этих сроков и изучение изменившихся условий вегетации растений осенью. В [Сиротенко, 2007; Материалы к стратегическому прогнозу,

2007] указывается на увеличение продолжительности вегетационного периода большинства сельскохозяйственных культур, то есть всего периода между переходом температуры воздуха через 5 °С весной в сторону повышения и осенью через этот же предел – в сторону понижения. Исследования других авторов свидетельствуют, например, об увеличении продолжительности вегетационного периода древесной растительности на территории Русской равнины [Воскова, 2007]. Исследования, проведённые [Гельвер, Семенов, 2005], показывают увеличение периода между датами перехода температуры воздуха весной и осенью через 10 °С. Применительно к осенней вегетации озимых культур, вегетация которых осенью продолжается до перехода температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения, исследований практически не проводилось.

Для установления оптимальных сроков сева озимых культур в изменившихся агроклиматических условиях их вегетации осенью нами рассчитаны новые (за период 1980–2015 г.) средние многолетние даты перехода температуры воздуха через 15 °С, т.е. когда начинается сев и появляются всходы озимых и через 5 °С в сторону понижения, когда вегетация их прекращается. С этой целью по 55 гидрометстанциям европейской территории России рассчитывались даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 °С и 5 °С по годам за указанный период по методу [Кельчевская, 1971]. Расчёты средних многолетних дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 15 °С показали, что они изменяются от 15–25 августа в северо-западных и северных районах территории до 20–25 сентября на юге (рис. 21). Проведённый анализ полученных результатов показал, что сдвиг этих дат в сторону более поздних, по сравнению с рассчитанными ранее (до 1975 г.) в большинстве районов европейской территории составляет преимущественно от 3 до 6 дней, по отдельным гидрометстанциям до 7–8 дней.



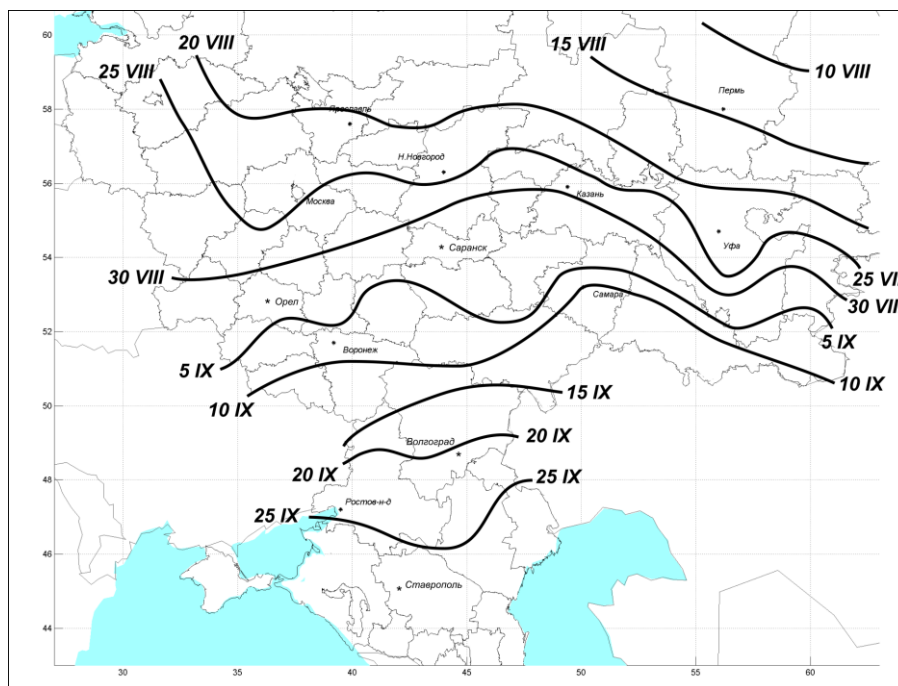


Рис. 21. – Средние многолетние даты перехода температуры воздуха  
через 15 °С осенью

Как указывалось ранее, активная вегетация озимых культур осенью на преобладающей территории их возделывания прекращается при переходе средней суточной температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения. Нами также по 55 гидрометстанциям были рассчитаны средние многолетние даты перехода температуры воздуха через этот предел (рис. 22).

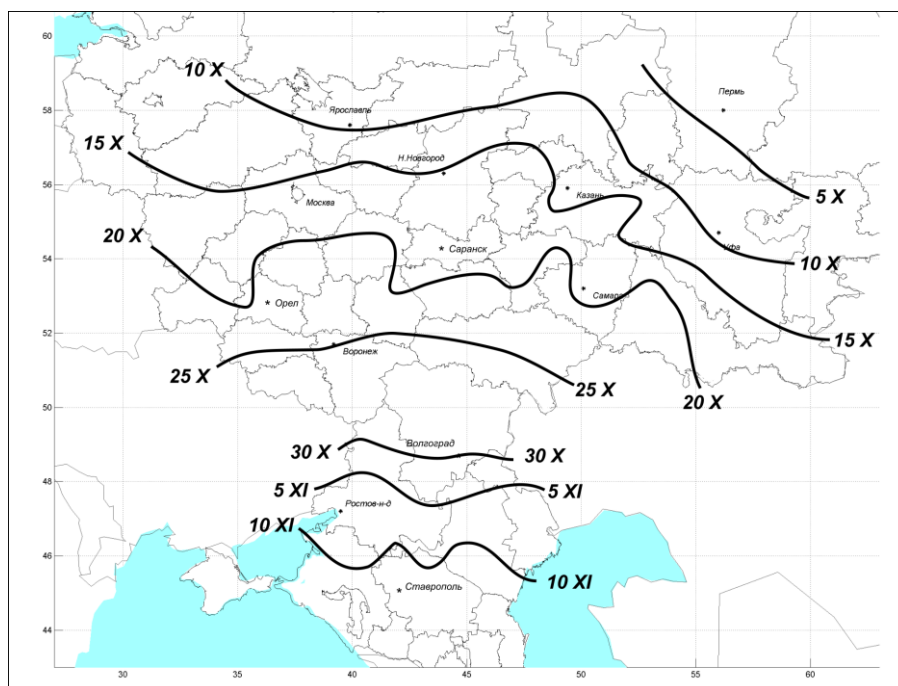


Рис. 22. – Средние многолетние даты перехода температуры воздуха  
через 5 °С осенью.

Расчёты показали, что на преобладающей территории европейской части России сдвиг средних многолетних дат перехода температуры воздуха через 5 °С в сторону более поздних составил в основном 6–8 дней. На Северном Кавказе, где переход от осени к зиме происходит медленно и от даты перехода температуры воздуха через 5 °С до даты перехода её через 3 °С [Свисюк, 1980] наблюдается небольшой период, в течение которого озимые продолжают расти. На северо–востоке европейской территории прекращение вегетации наступает значительно раньше (на 20 дней и более), чем в юго–западных и южных районах территории.

Проведённые исследования показали, что средняя продолжительность осеннего периода вегетации озимых зерновых культур, т.е. периода, между датами перехода через 15 °С и 5 °С осенью в сторону понижения по рассматриваемой нами территории за 1980–2015 гг. по сравнению с рассчитанными датами за предшествующий период [Максименкова, 1976; Моисейчик, 1975; Федоссов, 1979] в изменившихся погодно – климатических условиях существенно не увеличилась, лишь в юго–восточных районах Приволжского федерального округа увеличение составило 7–8 дней.

На северо – востоке европейской территории осень начинается примерно на месяц раньше, чем на юго – западе и юге. По средним многолетним данным, начало осени в северо – восточных областях европейской территории приходится на 5–15 августа; в северных и центральных районах территории – (Вологодская, Ярославская, Костромская, Московская, Владимирская, Ивановская, ленинградская, Новгородская, Псковская, Смоленская, Калужская области) – 20–25 августа; в центральных чернозёмных областях (Курская, Липецкая, Белгородская, Тамбовская, Воронежская области) и в Среднем Поволжье – 5–10 сентября. На юге территории (Южный и Северо-Кавказский федеральные округа) – в конце сентября – начале октября. Прекращение вегетации озимых культур в северных и северо–восточных районах наблюдается в основном в период 5–15 октября, в южных районах в конце октября – начале декабря. Таким образом, с учётом данных, приведённых на рис. 21 и 22, можно констатировать, что продолжительность периода активной вегетации озимых осенью на северо-западе европейской территории России почти в полтора раза больше, чем на юго-востоке (55 и 30–40 дней, соответственно).

### **3.2. Средние многолетние оптимальные сроки сева озимых зерновых культур в изменившихся агроклиматических условиях**

Сроки сева и агрометеорологические условия осеннего периода имеют очень большое значение для роста и развития озимых зерновых культур осенью и существенно влияют на исход их перезимовки и величину урожайности.

Известно, что наибольший урожай дают озимые таких сроков сева, при которых растения к концу вегетации успевают хорошо укорениться и раскуститься, достигнуть этапа готовности к формированию зачаточного колоса, чтобы весной выколоситься в наиболее раннюю дату, т.е. в оптимальные сроки. Растения поздних сроков сева не успевают достигнуть этапа готовности к переходу в генеративную фазу, а так как весной кущение озимых ограничено, то это ведет к уменьшению количества колосоносных стеблей и, следовательно, к уменьшению урожая. Растения очень ранних и очень поздних сроков сева менее устойчивы к неблагоприятным условиям зимовки. Их сохранность за зиму в среднем на 20 % ниже, чем у растений оптимальных сроков сева [Грудева, 1966; Куперман, 1973; Моисейчик 1975]. При отклонении сроков сева от оптимальных на 15–20 дней урожайность озимых в зависимости от почвенно-климатических условий района снижается на 10–30 % и более [Моисейчик, 1975].

Средние многолетние сроки сева озимых зерновых культур ранее были установлены по данным наблюдений ГМС, как указывалось выше, в основном за период 1955–1975 гг. Однако в связи с потеплением климата, которое особенно ярко проявилось с середины 70-х годов, изменение агроклиматических ресурсов, а также внедрением новых сортов озимых, необходимы были уточнения этих сроков с целью адаптации к изменившимся условиям и подготовки практических рекомендаций о возможных оптимальных сроках сева в конкретные годы. На большей части территории Центрального и Приволжского федеральных округов, особенно в южных районах этих округов, сроки сева озимых культур, по данным наблюдений ГМС, чаще всего сдвигались из-за засушливых условий, лишь в крайних северных районах в отдельные годы из-за переувлажнения почвы, в результате чего, для хорошего развития растениям осенью не хватало тепла. Поэтому наиболее важным фактором в период осенней вегетации озимых, особенно

в северных районах, является температура воздуха, а в южных районах и режим увлажнения. В условиях изменения климата изучение этих факторов крайне необходимо, особенно в последние десятилетия, когда эти изменения были наиболее существенными.

В задачу исследований входило изучение изменений агрометеорологических условий вегетации озимых зерновых культур осенью, расчёт и обоснование средних многолетних оптимальных сроков сева озимых в условиях наблюдаемого изменения климата, а также разработка нового метода прогноза оптимальных сроков сева для конкретных лет.

Разработанный на основе проведенных исследований новый метод прогноза оптимальных сроков сева озимых с учетом изменения климатических условий по субъектам Чернозёмной зоны будет изложен в параграфе 3.3 настоящей Главы.

Исследования динамики температуры воздуха, количества осадков, ГТК и запасов продуктивной влаги в период сева и вегетации озимых культур осенью, а также дат перехода температуры воздуха через 15 °C и 5 °C в сторону понижения основаны на анализе сформированных за многолетний период временных рядов указанных параметров, а также оценок построенных на их основе линейных трендов по гидрометстанциям Центрального, Южного и Приволжского федеральных округов. Результаты исследований позволили оценить тенденцию возрастания/убывания величин изучаемых параметров. Статистическая значимость трендов определялась по критерию Стьюдента.

На первом этапе была изучена динамика температурного режима и режима увлажнения на территории указанных округов за период с 1980 по 2015 гг. и рассчитаны (погодично) даты перехода температуры воздуха через 15 и 5 °C в сторону понижения.

Затем на основании рассчитанных средних многолетних дат прекращения вегетации озимых и установленных ранее агрометеорологами температурных констант [ШигOLEV, 1951; Грудева, 1966] были рассчитаны средние многолетние (за 1980–2015 гг.) оптимальные сроки сева озимых культур, при которых растения к концу вегетации достигают 3–4 побегов кустистости.

На заключительном этапе с использованием регрессионного и корреляционного анализов были установлены зависимости сроков сева озимых культур с агрометеорологическими факторами, характеризующими тепло- и влагообеспеченность растений в изменившихся агроклиматических условиях и разработан метод прогноза оптимальных сроков сева для конкретных лет.

Результаты исследований показали, что на преобладающей территории указанных округов в сентябре и октябре наблюдался существенный рост температуры воздуха как в чернозёмных, так и в нечернозёмных областях, при этом скорость роста в сентябре в основном была несколько большей, чем в октябре (и составляла соответственно от 0,022 до 0,097 %/год и 0,008-0,033 %/год) (Таблица 9). Повышение температуры, как показал анализ по десятилетиям, происходило неравномерно, но на большей части территории более существенным оно было в 2000–2009 гг., а по отдельным территориям в последние шесть лет.

По режиму увлажнения выявились некоторые различия по территории. Так, в большинстве нечернозёмных областей, например, в районе ГМС Ростов (Ярославская область) и Чердынь (Пермский край), а также в Заволжье Приволжского федерального округа (например, в районе ГМС Серноводск, Самарская область), а также в районе ГМС Аткарск (запад Саратовской области), наблюдалось существенное уменьшение осадков в сентябре – со скоростью - 0,194–0,444 мм в год (Таблица 10). В Пензенской области (ГМС Заметчино) уменьшение количества осадков было несущественным. В то же время на крайнем юге Центрального федерального округа (например, в районе ГМС Обоянь, Курская область) количество осадков в сентябре увеличивалось со скоростью 0,194 мм/год. В октябре на большей части территории количество осадков, как показал анализ их динамики, увеличивалось с различной скоростью: от 0,055 мм/год, например, на ГМС Серноводск (Самарская область) и до 0,583 мм/год и 0,778 мм/год на ГМС Заметчино (Пензенская область) и Чердынь (Пермский край), соответственно.

Таблица 9. Статистические характеристики временных рядов средней температуры воздуха в сентябре и октябре по периодам за 1980–2015 гг. по гидрометстанциям Центрального, Южного и Приволжского федеральных округов

Периоды	Годы	Средняя температу ра воздуха в сентябре, °С	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Температура воздуха, °С						
				Мах	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений, °/год
С Е Н Т Я Б Р Ь										
Ростов (Ярославская область)										
I	1980–1989	10,1	1,3	11,8	1983	7,1	1986	9,7	11,6	0,050
II	1990–1999	10,0	2,2	13,2	1994	6,1	1993			
III	2000–2009	11,2	1,2	13,0	2006	9,0	2000			
IV	2010–2015	11,5	1,0	12,8	2012	10,1	2013			
Обоянь (Курская область)										
I	1980–1989	12,7	1,3	14,1	1984	10,9	1986/87	12,1	13,8	0,047
II	1990–1999	12,3	2,2	17,3	1993	9,0	1992			
III	2000–2009	13,7	0,9	15,5	2007	12,2	2001			
IV	2010–2015	12,6	2,1	16,6	2012	10,1	2013			
Богучар (Воронежская область)										
I	1980–1989	14,0	1,2	15,9	1984	12,3	1986	13,1	15,3	0,061
II	1990–1999	13,9	2,0	18,1	1994	11,5	1997			
III	2000–2009	15,0	1,2	16,1	2002	13,7	2008			
IV	2010–2015	15,9	1,8	19,0	2015	13,1	2013			
Чертково (Ростовская область)										
I	1980–1989	14,7	1.3	16,1	1984	12,6	1987	14,3	15,2	0,025
II	1990–1999	14,1	2.7	1836	1994	11,4	1993			
III	2000–2009	15,2	1.7	17,2	2002	13,4	2000			
IV	2010–2015	15,2	2.2	17,7	2010	12,1	2013			

Таблица 9. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя температура воздуха в сентябре, °С	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Температура воздуха, °С						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений, °/год
С Е Н Т Я Б Р Ь										
Ремонтное (Ростовская область)										
I	1980–1989	16,4	1.3	17,6	1986	14,5	1987	16,3	17,1	0,022
II	1990–1999	16,2	2.1	19,7	1994	13,4	1997			
III	2000–2009	17,5	1.6	19,0	2005	15,6	2003			
IV	2010–2015	16,7	2.3	19,4	2010	13,0	2014			
Фролово (Волгоградская область)										
I	1980–1989	14,4	1,4	16,0	1989	12,2	1987	13,9	15,8	0,053
II	1990–1999	14,2	2,7	18,6	1994	10,8	1993			
III	2000–2009	15,9	1,6	17,4	2002	13,3	2000			
IV	2010–2015	15,3	2,5	18,8	2015	12,2	2014			
Чердынь (Пермский край)										
I	1980–1989	8,0	0,8	9,3	1982	6,5	1984	7,7	9,0	0,036
II	1990–1999	7,8	2,0	11,1	1992	4,3	1993			
III	2000–2009	8,8	1,4	11,2	2009	6,1	2008			
IV	2010–2015	9,0	0,7	9,9	2015	7,9	2014			
Канаш (Республика Чувашия)										
I	1980–1989	10,7	1,1	12,6	1982	8,9	1987	10,4	12,5	0,058
II	1990–1999	11,0	2,2	14,3	1992	6,6	1993			
III	2000–2009	11,8	1,1	12,9	2005	9,7	2008			
IV	2010–2015	12,3	0,9	14,0	2015	11,3	2013			

Таблица 9. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя температура воздуха в сентябре, °С	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Температура воздуха, °С						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений, °/год
С Е Н Т Я Б Р Ь										
Земетчино (Пензенская область)										
I	1980–1989	11,6	1,1	13,3	1984	9,8	1986/87	11,3	13,1	0,050
II	1990–1999	11,9	2,1	15,5	1994	8,3	1993			
III	2000–2009	12,8	1,1	15,1	2009	10,7	2000			
IV	2010–2015	12,8	1,1	14,9	2015	11,6	2013			
Серноводск (Самарская область)										
I	1980-1989	12,1	1,2	14,2	1982	10,1	1987	11,7	13,5	0,050
II	1990-1999	12,0	1,8	14,3	1992	7,9	1993			
III	2000-2009	13,1	1,1	14,9	2009	11,2	2008			
IV	2010-2015	13,4	1,3	16,2	2015	12,5	2011			
Аткарск (Саратовская область)										
I	1980-1989	12,5	1,2	14,6	1984	10,2	1987	11,1	14,6	0,097
II	1990-1999	12,6	2,1	16,5	1994	8,7	1993			
III	2000-2009	13,6	1,2	14,9	2005	11,4	2000			
IV	2010-2015	14,0	1.5	16,9	2015	12,8	2011			
О К Т Я Б Р Ь										
Ростов (Ярославская область)										
I	1980-1989	4,4	1,4	7,3	1981	2,2	1982	4,3	4,7	0,011
II	1990-1999	4,3	1,7	6,6	1999	0,8	1992			
III	2000-2009	5,2	1,6	8,1	2008	1,5	2002			
IV	2010-2015	4,2	1,6	6,1	2011	2,1	2014			



Таблица 9. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя температура воздуха в сентябре, °С	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Температура воздуха, °С						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений, °/год
О К Т Я Б Р Ь										
Ростов (Ярославская область)										
I	1980-1989	4,4	1,4	7,3	1981	2,2	1982	4,3	4,7	0,011
II	1990-1999	4,3	1,7	6,6	1999	0,8	1992			
III	2000-2009	5,2	1,6	8,1	2008	1,5	2002			
IV	2010-2015	4,2	1,6	6,1	2011	2,1	2014			
Обоянь (Курская область)										
I	1980-1989	6,4	1,2	8,4	1981	4,4	1987	6,5	6,8	0,008
II	1990-1999	6,6	1,3	8,8	1991	4,2	1992			
III	2000-2009	7,4	1,2	9,5	2008	5,5	2002			
IV	2010-2015	6,0	1,8	9,2	2012	4,0	2014			
Богучар (Воронежская область)										
I	1980-1989	7,5	1,2	9,6	1981	5,7	1987	7,6	8,2	0,017
II	1990-1999	8,0	1,4	10,9	1991	6,1	1992			
III	2000-2009	8,5	1,2	10,5	2009	6,7	2001			
IV	2010-2015	7,4	2,0	11,4	2012	5,4	2014			
Чертково (Ростовская область)										
I	1980-1989	7,3	1,5	9,3	1981	5,4	1987	7,5	8,3	0,022
II	1990-1999	8,1	1,7	10,6	1991	6,2	1992			
III	2000-2009	8,6	1,5	10,3	2009	6,8	2001			
IV	2010-2015	7,4	1,9	11,1	2012	5,6	2015			
Ремонтное (Ростовская область)										
I	1980-1989	8,7	1,7	11,3	1981	6,6	1987	9,1	10,2	0,030
II	1990-1999	10,1	1,5	12,4	1991	8,6	1996			
III	2000-2009	10,5	2,0	12,7	2009	7,7	2000			
IV	2010-2015	8,9	2,2	13,3	2012	6,6	2014			

Таблица 9. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя температура воздуха в сентябре, °С	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Температура воздуха, °С						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений, °/год
О К Т Я Б Р Ь										
Фролово (Волгоградская область)										
I	1980-1989	6,7	1,6	9,2	1981	4,5	1987	7,1	7,9	0,022
II	1990-1999	8,0	1,9	10,8	1991	5,9	1992			
III	2000-2009	8,5	1,7	10,3	2009	5,7	2001			
IV	2010-2015	6,4	2,0	10,4	2012	4,6	2011			
Чердынь (Пермский край)										
I	1980-1989	1,0	2,2	5,1	1981	-2,6	1982	1,2	1,7	0,014
II	1990-1999	1,6	2,1	5,3	1999	-2,3	1192			
III	2000-2009	1,8	1,9	4,3	2003	-1,4	2001			
IV	2010-2015	0,9	2,5	3,7	2012	-2,7	2014			
Канаш (Республика Чувашия)										
I	1980-1989	4,0	1,5	7,2	1981	1,8	1987	4,0	5,2	0,033
II	1990-1999	4,7	1,6	7,7	1991	2,1	1992			
III	2000-2009	5,1	1,4	7,7	2008	3,2	2002			
IV	2010-2015	4,4	2,6	8,7	2011	1,5	2014			
Земетчино (Пензенская область)										
I	1980-1989	5,0	1,3	6,8	1981	2,0	1987	5,2	6,1	0,025
II	1990-1999	5,8	1,3	8,7	1991	3,6	1992			
III	2000-2009	6,3	1,0	8,1	2008	4,4	2002			
IV	2010-2015	5,3	1,8	8,6	2012	3,4	2015			

Таблица 9. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя температура воздуха в сентябре, °С	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Температура воздуха, °С						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений, °/год
О К Т Я Б Р Ь										
Серноводск (Самарская область)										
I	1980-1989	4,3	1,3	7,3	1981	2,2	1987	4,6	5,7	0,030
II	1990-1999	5,7	1,6	8,9	1991	3,3	1992			
III	2000-2009	5,7	1,1	7,4	2008	4,0	2001			
IV	2010-2015	4,9	1,8	7,9	2012	2,8	2015			
Аткарск (Саратовская область)										
I	1980-1989	5,3	1,4	7,7	1981	3,1	1987	5,5	6,3	0,022
II	1990-1999	6,2	1,3	7,8	1991	4,2	1992			
III	2000-2009	6,4	1,1	8,0	2009	4,2	2001			
IV	2010-2015	5,5	1,8	8,7	2012	3,5	2015			

Таблица 10. Статистические характеристики временных рядов осадков в сентябре и октябре по периодам за 1980–2015 гг. по гидрометстанциям Центрального, Южного и Приволжского федеральных округов.

Периоды	Годы	Средняя сумма осадков, мм	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Осадки, мм						
				Мах	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений мм /год
С Е Н Т Я Б Р Ь										
Ростов (Ярославская область)										
I	1980–989	67	28,0	128	1986	21	1983	67	52	-0,417
II	1990–999	62	37,3	142	1993	22	1995			
III	2000–009	48	21,4	81	2006	21	2005			
IV	2010–015	69	30,3	121	2011	22	2014			
Обоянь (Курская область)										
I	1980–989	49	22,7	87	1987	19	1981	54	61	0,194
II	1990–999	60	40,0	124	1993	8	1991			
III	2000–009	68	36,8	150	2002	12	2005			
IV	2010–015	52	26,5	91	2013	23	2012			
Богучар (Воронежская область)										
I	1980–989	49	20,0	159	1985	1	1983	54	40	-0,389
II	1990–999	51	31,0	101	1996	0	1998			
III	2000–009	51	18,1	105	2001	13	2003			
IV	2010–015	32	37,2	113	2013	4.7	2012			
Чертково (Ростовская область)										
I	1980–989	39	26,8	88	1985	5	1983	44	40	-0,111
II	1990–999	46	33,9	121	1996	1	1998			
III	2000–009	50	26,7	91	2004	6	2003			
IV	2010–015	27	25,7	83	2013	4	2015			

Таблица 10. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя сумма осадков, мм	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Осадки, мм						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений мм /год
С Е Н Т Я Б Р Ь										
Ремонтное (Ростовская область)										
I	1980–1989	36	28,5	101	1985	3	1984	37	34	-0,083
II	1990–1999	36	28,4	95	1996	2	1998			
III	2000–009	41	21,9	86	2003	4	2006			
IV	2010–015	27	30,7	92	2013	4	2015			
Фролово (Волгоградская область)										
I	1980–1989	43	30,0	97	1987	2	1983	42	31	0,305
II	1990–1999	27	31,2	94	1992	2	1998			
III	2000–009	40	29,1	112	2007	1	2009			
IV	2010–015	34	23,3	66	2013	0	2015			
Чердынь (Пермский край)										
I	1980–1989	78	30,4	128	1987	34	1983	75	68	-0,194
II	1990–1999	65	33,6	126	1997	17	1994			
III	2000–2009	65	19,0	101	2006	43	2001			
IV	2010–2015	80	25,4	111	2013	42	2014			
Канаш (Республика Чувашия)										
I	1980–1989	56	28,5	112	1987	11	1989	56	49	-0,194
II	1990–1999	52	29,2	97	1993	16	1994			
III	2000–2009	50	23,5	88	2002	12	2009			
IV	2010–2015	52	39,3	124	2013	14	2014			
Земетчино (Пензенская область)										
I	1980–1989	45	17,7	86	1987	21	1983	53	51	-0,055
II	1990–1999	64	36,0	116	1997	3	1994			
III	2000–2009	55	19,3	82	2006	27	2001			
IV	2010–2015	46	30,2	95	2013	10	2015			

Таблица 10. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя сумма осадков, мм	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Осадки, мм						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений мм /год
С Е Н Т Я Б Р Ь										
Серноводск (Самарская область)										
I	1980–1989	63	33,1	117	1980	22	1989	60	44	-0,444
II	1990–1999	47	35,0	117	1999	14	1995			
III	2000–2009	42	19,2	69	2008	7	2003			
IV	2010–2015	47	20.5	83	2015	18	2011			
Аткарск (Саратовская область)										
I	1980–1989	43	24,5	91	1985	5,0	1989	56	47	-0,250
II	1990–1999	67	46,5	151	1993	5,0	1994			
III	2000–2009	49	29,9	103	2002	3,0	2009			
IV	2010–2015	44	37,3	117	2013	5,0	2014			
О К Т Я Б Р Ь										
Ростов (Ярославская область)										
I	1980–1989	48	24,7	100	1989	0	1987	52	62	0,278
II	1990–1999	64	44,6	154	1997	21	1996			
III	2000–2009	58	18,2	89	2002	29	2000			
IV	2010–2015	58	37,6	137	2012	27	2013			
Обоянь (Курская область)										
I	1980–1989	48	26,7	93	1981	3	1987	54	50	-0,111
II	1990–1999	62	32,2	112	1992	24	1995			
III	2000–2009	47	24,5	103	2009	12	2000			
IV	2010–2015	51	32,5	114	2012	13	2015			
Богучар (Воронежская область)										
I	1980–1989	38	27,3	101	1982	8	1987	37	48	0,305
II	1990–1999	39	23,9	91	1997	6	1994			
III	2000–2009	46	27,5	85	2003	6	2000			
IV	2010–2015	52	37,6	99	2010	15	2014			

Таблица 10. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя сумма осадков, мм	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Осадки, мм						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений мм /год
О К Т Я Б Р Ь										
Чертково (Ростовская область)										
I	1980–1989	30	20,0	75	1981	2	1987	35	45	0,278
II	1990–1999	46	23,6	95	1997	12	1997			
III	2000–2009	44	24,9	87	2002	13	2008			
IV	2010–2015	39	19,0	73	2010	14	2014			
Ремонтное (Ростовская область)										
I	1980-1989	25	19,3	71	1980	4	1982	31	37	0,167
II	1990-1999	42	24,2	90	1994	4	1998			
III	2000-2009	34	30,2	105	2003	3	2009			
IV	2010-2015	38	26,7	76	2010	13	2015			
Фролово (Волгоградская область)										
I	1980–1989	27	27,8	95	1989	1	1987	23	42	0,528
II	1990–1999	31	22,2	81	1997	5	1993			
III	2000–2009	36	15,6	61	2006	3	2000			
IV	2010–2015	40	12,9	55	2013	18	2014			
Чердынь (Пермский край)										
I	1980–1989	65	24,8	107	1986	14	1987	62	90	0,778
II	1990–1999	76	31,8	150	1992	49	1999			
III	2000–2009	73	21,8	104	2004	39	2003			
IV	2010–2015	99	25,9	144	2013	76	2010/11			
Канаш (Республика Чувашия)										
I	1980–1989	42	36,4	136	1989	0	1987	43	50	0,194
II	1990–1999	48	26,8	107	1997	13	1999			
III	2000–2009	47	23,6	92	2001	23	2000			
IV	2010–2015	49	8,8	62	2012	39	2011			

Таблица 10. Продолжение

Периоды	Годы	Средняя сумма осадков, мм	Среднее квадратическое отклонение (σ)	Осадки, мм						
				Max	Год	Min	Год	1980	2015	Скорость изменений мм /год
О К Т Я Б Р Ь										
Земетчино (Пензенская область)										
I	1980–1989	36	21,7	78	1982	2	1987	36	57	0,583
II	1990–1999	50	28,6	108	1997	21	1992			
III	2000–2009	52	21,6	98	2004	19	2000			
IV	2010–2015	47	19,3	82	2012	27	2014			
Аткарск (Саратовская область)										
I	1980–1989	33	22,5	85	1989	0	1987	29	49	0,556
II	1990–1999	34	24,9	93	1997	9	1994			
III	2000–2009	45	24,0	103	2003	12	2000			
IV	2010–2015	48	27,8	100	2012	13	2014			
Серноводск (Самарская область)										
I	1980–1989	45	29,6	107	1989	0	1987	44	46	0,055
II	1990–1999	45	21,0	70	1990	8	1992			
III	2000–2009	45	21,6	87	2002	5	2007			
IV	2010–2015	47	19,3	83	2015	18	2011			



Хорошо иллюстрирует характер увлажнения по этим районам и динамика ГТК, показанная на рис. 23 и 24 на примере ГМС Ростов Ярославской и Серноводск Самарской областей, где ГТК в сентябре (основной период вегетации) снижался и ГМС Земетчино (юго–запад Пензенской области) и Ремонтное (Ростовская область), где этот показатель за рассмотренный период изменился незначительно.

Анализ Таблицы 10, а также рис. 23 и рис. 24, где приведена динамика количества осадков и ГТК для регионов Центрального, Южного и Приволжского федеральных округов, позволяет констатировать, что в северных районах Центрального и Приволжского федеральных округов, например, ГМС Ростов (Ярославская область), а также ГМС Чердынь (Пермский край), где увлажнение в период сева и осенней вегетации часто бывает избыточным [Страшная, Максименкова, Чуб (Береза), 2009, 2011], в связи с некоторым уменьшением количества осадков в сентябре за рассмотренный период условия увлажнения улучшились почти до оптимальных (например, ГТК, как показали расчёты, в конце периода был 1,6–1,8), что характеризует хорошее увлажнение. В северных районах Южного и юго–западе Приволжского федеральных округов (например, ГМС Ремонтное, Ростовская области и ГМС Земетчино Пензенской области) условия увлажнения в сентябре (основной период вегетации) за рассмотренный период изменились незначительно, а в ряде заволжских районов Приволжского федерального округа (например, ГМС Серноводск Самарской области) выявлено ухудшение условий увлажнения.

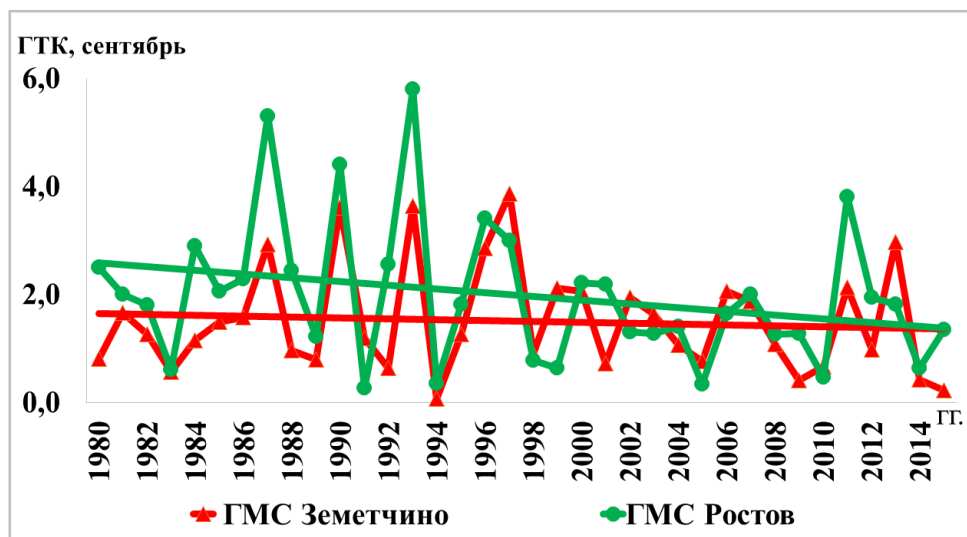


Рис. 23. – Динамика ГТК по ГМС Земетчино (Пензенская область) и ГМС Ростов (Ярославская область) в сентябре (1980–2015 гг.).

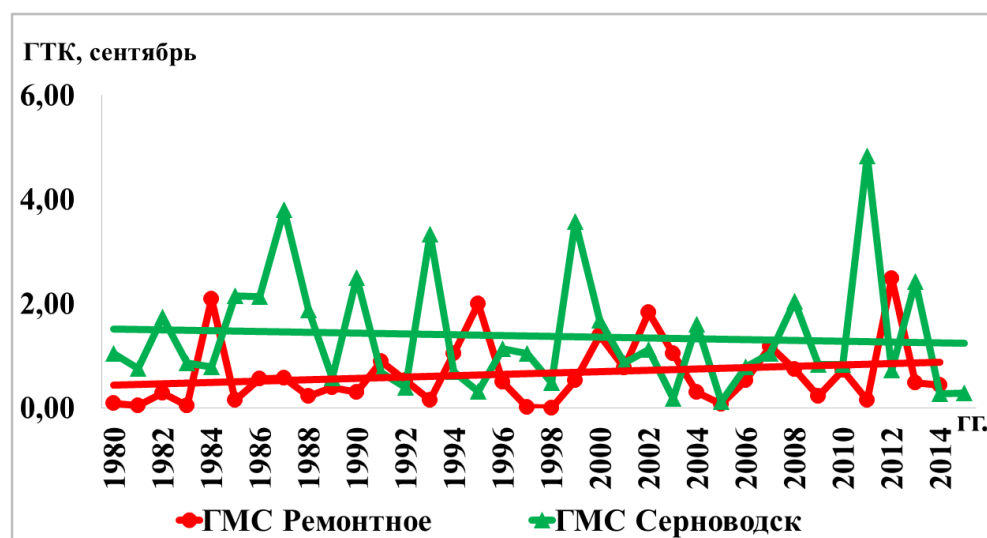


Рис. 24. – Динамика ГТК по ГМС Ремонтное (Ростовская область) и ГМС Серноводск (Самарская область) в сентябре (1980–2015 гг.).

Как показано выше, а также указывалось ранее [Страшная и др., 2009; Страшная и др., 2011] повышение температуры воздуха (в отличие от количества осадков) за рассмотренный период (1980–2015 гг.) наблюдалось как в сентябре, так и в октябре, вследствие чего осенняя вегетация озимых стала более продолжительной. Это наглядно подтверждает и положительная динамика дат перехода температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  осенью по годам, представленная в качестве типичного примера по ГМС Немчиновка (Московская область) и Нолинск (Кировская область) на рис. 25 (а, б), где в конце рассмотренного периода переход

температуры воздуха через этот предел наблюдался значительно позже, чем в начале периода, особенно в центральных областях (ГМС Немчиновка, Московская область).

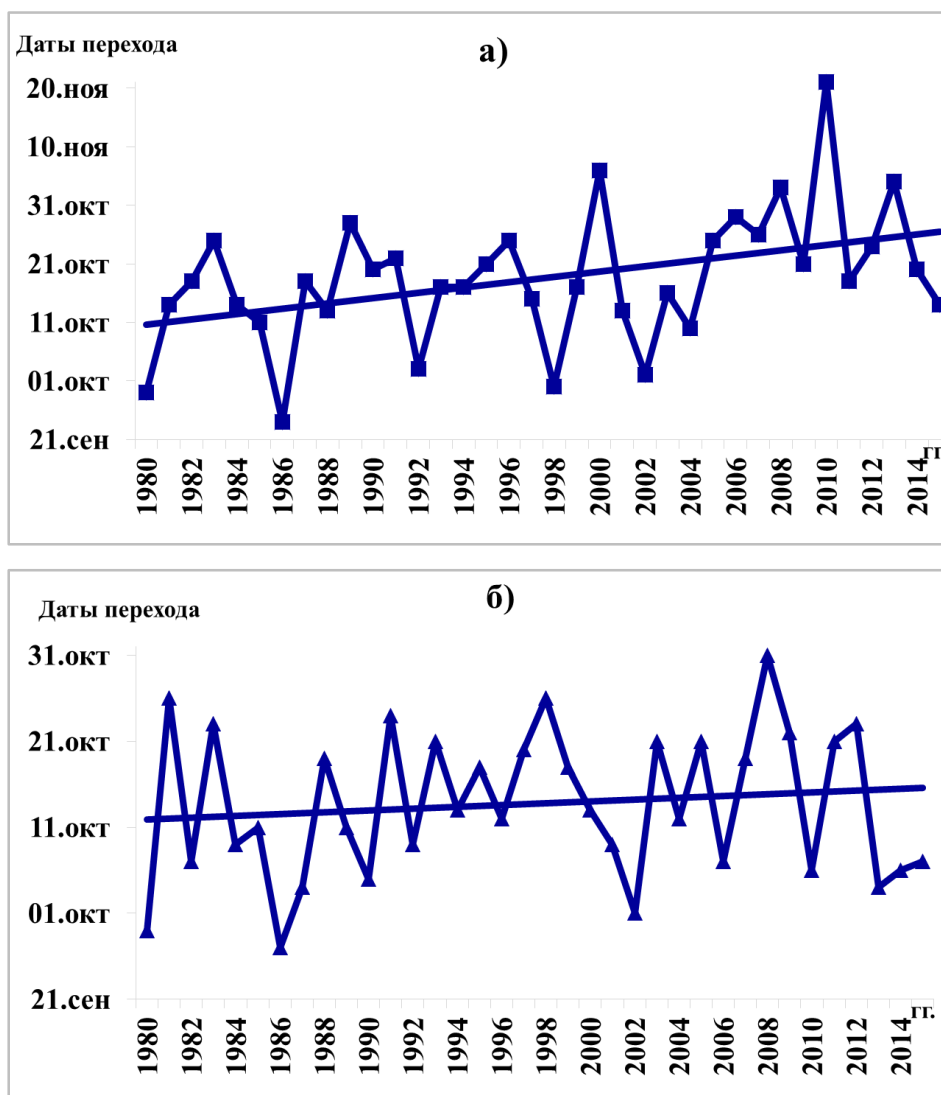


Рис. 25. – Динамика дат перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С осенью по ГМС Немчиновка, Московская область (а) и Нолинск, Кировская область (б).

В период предзимья (от перехода температуры воздуха через 5 °С до перехода через 0 °С) слабая вегетация озимых культур в Нечернозёмной зоне и на севере Чернозёмной зоны наблюдалась лишь в отдельные годы, в основном в дневные часы при наблюдавшихся кратковременных всплесках тепла. При этом заметных изменений в степени развития растений, как правило, не отмечалось. Результаты проведённых исследований позволили нам установить оптимальные средние многолетние сроки сева озимых, ведя счёт необходимой для образования 3–4

побегов кустистости суммы эффективной температуры ( $250^{\circ}\text{C}$ ) от рассчитанной средней многолетней даты перехода средней температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  в сторону летних месяцев ( $D_5$ ) по ГМС указанных выше округов.

По результатам этих расчётов построена карта оптимальных сроков сева озимых зерновых культур за период с 1980 по 2015 гг. (рис. 26).

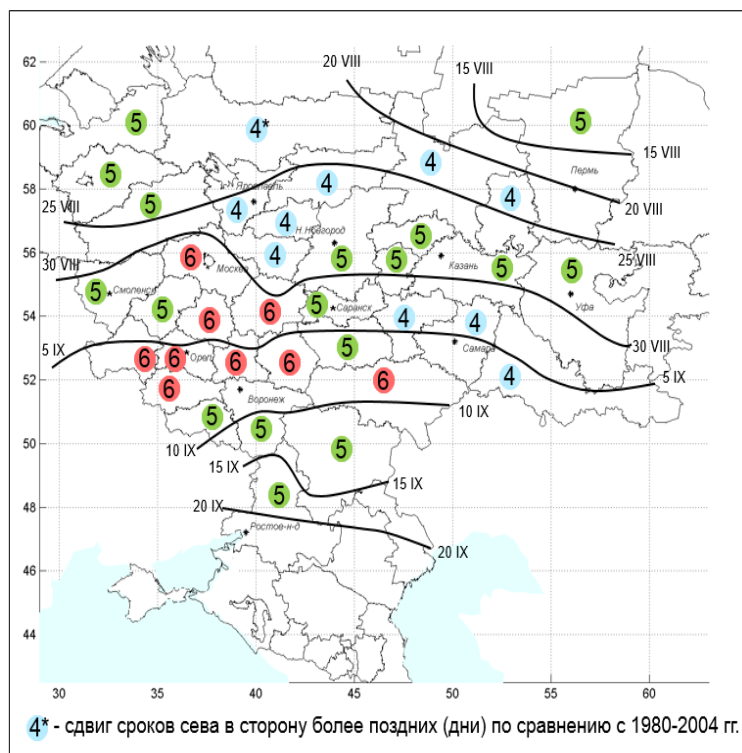


Рис. 26. – Средние многолетние оптимальные сроки сева озимых зерновых культур за период 1980–2015 гг.

Как видно на рис. 26, в крайних северных и северо-восточных районах территории оптимальные средние многолетние сроки сева приходятся на 10–20 августа, в южных районах на 10–20 сентября. На Северном Кавказе, где осень более продолжительная, сев озимых производится в значительно более поздние сроки. На рисунке показан также сдвиг расчетных оптимальных сроков сева в текущий период (в настоящее время) по сравнению с предшествующим периодом. Использование на практике рассчитанных нами сроков сева является одной из предлагаемых адаптационных мер в изменившихся агроклиматических условиях (при увеличении повторяемости засух осенью и увеличившейся продолжительности осенней вегетации растений) и будет способствовать уменьшению площадей озимых в плохом состоянии осенью (изреженных и невзошедших). Однако следует заметить,

что в связи с тем, что изменчивость условий увлажнения в большинстве районов Чернозёмной зоны увеличилась, эта мера не исключает необходимости использования в период осеннего сева озимых культур составленных в Гидрометцентре России прогнозов погоды на месяц и десять дней, что в ряде случаев помогает скорректировать указанные сроки сева в зависимости от сложившихся в текущем году конкретных агрометеорологических условий.

### **3.3. Метод расчёта оптимальных сроков сева озимых культур для конкретных лет**

Установленные оптимальные средние многолетние сроки сева озимых зерновых культур (за период 1980–2015 гг.) могут использоваться в годы, когда отклонения агрометеорологических условий от средних многолетних в августе–сентябре бывают незначительными. Однако в большинстве лет агрометеорологические условия в этот период различаются в значительной степени и для расчета оптимальных сроков сева в конкретном году необходимо знать ожидаемую дату прекращения активной вегетации озимых культур (или дату перехода температуры воздуха через  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $D_5$ ) в этом же году. В то же время надежного метода прогноза дат ( $D_5$ ) пока не предложено. В исследованиях [Козельцева, 1982] показано, что погодичные отклонения дат ( $\Delta D_5$ ) от средних многолетних ( $D_5$ ) на 20 гидрометстанциях (из произвольно выбранных 30-ти по территории России) за рассмотренный авторами период (1946–1976 гг.) имели достаточно тесную связь ( $\rho$  и  $r$  более 0,30) с аномалией средней температуры воздуха за осень ( $\Delta T_0$ ). Однако  $\Delta T_0$  на осень не прогнозируется, поэтому использовать полученные ими зависимости  $\Delta D_5$  от  $\Delta T_0$  не представляется возможным. Расчёт продолжительности периода вегетации озимых культур за период с 1964 по 1975 годы предложен Максименковой Т.А. [Максименкова, 1976]. Однако в изменившихся агроклиматических условиях применение этих данных в оперативной практике агрометеорологов малоэффективно и требует уточнений.

В этой связи нами, по данным за период с 1980 по 2009 гг. (30 лет), установлена новая зависимость между продолжительностью ( $n$ ) периода активной вегетации озимых культур осенью, которая прекращается при переходе

температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения, и датой перехода температуры воздуха через 15 °С ( $D_{15}$ ), т.е. с началом осени, когда уже возможен сев озимых [Давитая, 1964]. При этом полученные регрессионные уравнения зависимости (для расчёта сроков сева на основе использования дат перехода температуры воздуха через 15 °С) практически на всей территории округов имеют линейный характер. Значимость парных коэффициентов корреляции и коэффициентов регрессии оценивалась в соответствии с [Уланова, 1964; Пановский, Брайер, 1967; Уланова, Сиротенко, 1968; Жуков и др., 1989].

*Для субъектов северных районов Нечернозёмной зоны, сравнительно однородных по природно-климатическим условиям, зависимость продолжительности осенней вегетации озимых ( $n$ ) от даты перехода через 15 °С ( $D_{15}$ ) описана уравнением вида:*

$$n = -0,73D_{15} + 87,77; \quad R = 0,70 \pm 0,04, \quad N = 120 \quad (1)$$

*Для южных районов Нечернозёмной зоны полученное уравнение имеет вид:*

$$n = -0,90D_{15} + 74,70; \quad R = 0,71 \pm 0,04, \quad N = 120 \quad (2)$$

*Для центральных чернозёмных областей, Самарской и Саратовской областей получено следующее уравнение :*

$$n = -0,77D_{15} + 73,72; \quad R = 0,73 \pm 0,03, \quad N = 236 \quad (3)$$

*Для Пензенской, Ульяновской областей уравнение имеет вид:*

$$n = -0,95D_{15} + 77,44; \quad R = 0,70 \pm 0,07, \quad N = 60 \quad (4)$$

*Для Республик Татарстан, Башкортостан и Оренбургской области получено уравнение:*

$$n = -0,81D_{15} + 70,64; \quad R = 0,73 \pm 0,03, \quad N = 182 \quad (5)$$

где  $n$  – продолжительность периода в днях от даты перехода температуры воздуха через 15 °С ( $D_{15}$ ) до окончания активной осенней вегетации, т.е. до перехода температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения,  $D_{15}$  – дата перехода температуры воздуха через 15 °С в сторону понижения,  $N$  – длина ряда,  $R$  – коэффициент корреляции. В уравнении (1) за единицу отсчета принята дата 1 июля, в уравнениях (2–5) за единицу отсчета принята дата 1 августа.

Ошибки полученных регрессионных уравнений на зависимом материале (1980–2009 гг.) в 80 % случаях в основном не превышали 3–5 дней, при проверке на

независимых материалах (2016 и 2017 гг.) по большинству субъектов они были 1–3 дня, в центральных чернозёмных областях и в отдельных областях на юге Приволжского федерального округа – 4 дня, что при общей продолжительности осеннего периода от 55 до 70 дней, вполне допустимо при использовании рассчитанных регрессионных уравнений в оперативной работе. Результаты проверки регрессионных уравнений на независимых материалах приведены в Таблице 11.

Таблица 11. Результаты проверки регрессионных уравнений для расчёта продолжительности периода активной осенней вегетации ( $n$ ) на независимых материалах (2016 и 2017 гг.).

Субъект	$n$ , дни факт	$n$ , дни расчёт	Средняя абсолютная ошибка, дни
Северные районы Нечернозёмной зоны	35	37,4	2,4
Южные районы Нечернозёмной зоны	39	40,5	1,5
ЦЧО, Самарская, Саратовская области	37	40,6	4,0
Пензенская, Ульяновская области	39	40,4	1,4
Республики Татарстан, Башкортостан, Оренбургская область	37	38,2	1,2

Рассчитав по предложенным уравнениям продолжительность ( $n$ ) периода активной осенней вегетации (следовательно, дату её окончания) и рассчитав сумму эффективной температуры воздуха (выше 5 °С) от этой даты в сторону летних месяцев, можно определить оптимальный срок сева озимых, принимая за этот срок дату, когда набирается сумма эффективной температуры, равная 250 °С, необходимая для образования 3 – 4 побегов кустистости.

При ежегодном установлении оптимальных сроков сева озимых культур и подготовки соответствующих агрометеорологических рекомендаций, особенно в годы с аномальными погодными условиями для конкретных территорий, необходим учёт сложившихся агрометеорологических условий текущего года и прогнозов погоды, оправдываемость которых в последние годы повысилась.

В связи с этим нами предложен новый метод прогноза оптимальных сроков сева озимых в изменившихся агроклиматических условиях, с учётом прогноза погоды. При разработке нового метода территория озимосеющих регионов России по сходству агроклиматических условий осени была разделена на четыре района.

*К первому району* отнесены нечернозёмные области Центрального федерального округа (Брянская, Смоленская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Владимирская, Костромская, Московская, Калужская, Рязанская, Орловская области), северные нечернозёмные субъекты Приволжского федерального округа (Нижегородская, Кировская области, Пермский край, Республики Марий–Эл, Мордовия, Чувашия, Удмуртия), где развитие растений осенью определяют в основном термические условия, а увлажнение чаще всего достаточное (в отдельные годы в северных районах даже избыточное).

Озимосеющие регионы Уральского федерального округа (Курганская, Челябинская, Свердловская области) и Западной Сибири (Омская, Новосибирская области и Алтайский край), где увлажнение также чаще бывает достаточным, выделялись отдельно.

*Ко второму району* отнесены центральные чернозёмные области (Курская, Липецкая, Белгородская, Воронежская, Тамбовская), где в отдельные годы увлажнение осенью бывает недостаточным, а теплообеспеченность, напротив, достаточной.

*К третьему району* отнесены Республики Татарстан, Башкортостан, а также сходные по термическому режиму и режиму увлажнения Пензенская, Ульяновская области. В большинстве лет осенью увлажнение этой территории достаточное, лимитирующим фактором является температура воздуха.

*Четвёртый район объединяет* юго–восточные области Приволжского федерального округа (Саратовская, Самарская, Оренбургская), где в августе–сентябре часто (в 30 % лет и более) наблюдаются засушливые условия. Здесь очень важным, кроме температуры воздуха, становится учёт увлажнения (количество осадков).

Для территории, относящейся *к первому району*, нами использовались данные о термическом режиме в период от начала сева до прекращения вегетации озимых



культур. По фактическим данным о сроках сева на ГМС были выбраны годы, когда растения достигали кустистости 3–4 побегов и более в среднем на одно растение, и далее рассчитывалась средняя температура воздуха за этот период. Были рассчитаны матрицы связей сроков сева озимых с температурой воздуха и количеством осадков за различные периоды (декады) осенней вегетации.

Оказалось, что наиболее тесная связь сроков сева, обеспечивающих указанную кустистость, в нечернозёмных областях проявляется со средней температурой воздуха за период с третьей декады августа по третью декаду сентября.

Для нечернозёмных областей Центрального и Приволжского федеральных округов полученное прогностическое уравнение имеет вид:

$$D_{\text{сев}} = 4,30T_{\text{3дек.VIII-IX}} - 24,17 \quad R = 0,86 \pm 0,02 \quad N = 140 \quad (6)$$

Для озимосеющих регионов Уральского федерального округа получено уравнение:

$$D_{\text{сев}} = 3,65T_{\text{3дек.VIII-IX}} - 0,19 \quad R = 0,85 \pm 0,03 \quad N = 108 \quad (7)$$

Для озимосеющих регионов Западной Сибири прогностическое уравнение имеет вид:

$$D_{\text{сев}} = 2,97T_{\text{3дек.VIII-IX}} - 0,11 \quad R = 0,86 \pm 0,03 \quad N = 108, \quad (8)$$

Для территорий, относящихся ко *второму, третьему и четвёртому* районам значимая теснота связей дат оптимальных сроков сева выявилась не только с температурой воздуха, но и с количеством осадков за сентябрь ( $P_{IX}$ ), при этом более тесная связь с количеством осадков оказалась на территории, относящейся к четвёртому району.

Для территории, отнесенной ко *второму району*, получено регрессионное уравнение вида:

$$D_{\text{сев}} = 1,55T_{\text{3дек.IX}} - 0,02P_{\text{2 дек.IX}} + 19,98 \quad R = 0,77 \pm 0,03 \quad N = 175 \quad (9)$$

Для территории, относящейся к *третьему району*:

$$D_{\text{сев}} = 3,18T_{IX} - 7,64 \quad R = 0,78 \pm 0,03 \quad N = 170 \quad (10)$$

Для территории *четвёртого района*:

$$D_{\text{сев}} = -0,20P_{IX} + 45,50 \quad R = 0,76 \pm 0,04 \quad N = 175 \quad (11)$$

В уравнениях (6–11)  $D_{\text{сев}}$  – срок сева (дата оптимального срока сева – за единицу отсчета принята дата 1 августа),  $T_{\text{3 дек.VIII-IX}}$  – средняя температура воздуха

за период третья декада августа – сентябрь,  $P_{IX}$  – количество осадков за сентябрь,  $P_{2 \text{ дек. IX}}$  – количество осадков за вторую декаду сентября,  $T_{3 \text{ дек. IX}}$  – средняя температура воздуха за третью декаду сентября,  $T_{IX}$  – средняя температура воздуха за сентябрь,  $N$  – длина ряда,  $R$  – коэффициент корреляции.

В Гидрометцентре России предварительный прогноз погоды на сентябрь составляется в середине августа, поэтому прогноз оптимальных сроков сева озимых культур можно составить уже в этот период. При отсутствии такого прогноза можно использовать средние многолетние данные.

Приведём *пример расчёта* оптимального срока сева озимых зерновых культур на основе использования дат перехода температуры воздуха через  $15^\circ\text{C}$  по Тамбовской области.

В Тамбовской области переход температуры воздуха в 2016 году через  $15^\circ\text{C}$  в сторону понижения произошёл 11 сентября.

В уравнение (3) для ЦЧО, Самарской, Саратовской областей подставляем  $D_{15}$ , равное 42 (так как за единицу отсчёта принята дата 1 августа):

$$n = -0,77 * 42 + 73,72 = 41,38,$$

т.е. продолжительность осеннего периода по расчётам составила 41 день. Фактическая продолжительность осеннего периода (период от перехода температуры воздуха через  $15^\circ\text{C}$  до  $5^\circ\text{C}$  в сторону понижения) составила 37 дней (разница с расчётной величиной составила 4 дня). Таким образом, прекращение вегетации озимых культур наступит через 41 день после 1 августа, т.е. 3 сентября.

Считая необходимую сумму эффективных температур воздуха (выше  $5^\circ\text{C}$ ), равную  $250^\circ\text{C}$ , от 18 октября в сторону летних месяцев, получаем оптимальный срок сева озимых культур в 2016 г. 3 сентября.

*Пример прогноза сроков сева на основе использования метеорологических данных.*

В Тамбовской области в 2016 г. средняя температура воздуха за третью декаду сентября составила  $8,9^\circ\text{C}$ , а количество осадков за вторую декаду сентября составило 7,8 мм. Таким образом, подставляя эти значения в уравнение (9), которое относится ко второму району (при расчете  $D_{\text{сев}}$  – оптимальный срок сева, здесь также за начало счёта принята дата 1 августа);

$$D_{\text{сев}} = 1,55 * 8,9 - 0,02 * 7,8 + 19,98 = 33,62$$

По расчётам получаем значение  $D_{\text{сев}}$ , равное 33,62, т.е. отсчитав полученное значение от 1 августа, определяем, что оптимальный срок сева озимых в 2016 году приходится на 3 сентября. Фактический оптимальный срок сева в этом году приходился на 3 сентября, т.е. оба способа, применённые для Тамбовской области за 2016 год, показали одинаковые результаты.

#### **Глава 4. Количественная оценка состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации осенью по данным наземных и спутниковых наблюдений**

В настоящее время в условиях глобального изменения климата аналитическая агрометеорологическая информация о состоянии сельскохозяйственных культур, а также прогнозы урожайности являются важным звеном в системе поддержки принятия управленческих и хозяйственных решений в аграрном секторе, способствующих увеличению производства зерна и другой сельскохозяйственной продукции. В связи с этим в современных условиях формирования новых хозяйственных отношений в сельскохозяйственной отрасли требования к точности и заблаговременности такой информации существенно повысились [Страшная и др. 2010; Вильфанд, Страшная, 2011; Страшная и др., 2013].

Как указывалось нами в Главе 1, в зерновом балансе Российской Федерации наиболее значительный удельный вес принадлежит озимым зерновым культурам (пшеница, рожь, тритикале, ячмень), которые дают до 45–48 % валового сбора зерна, производимого в стране. На преобладающей территории европейской части России озимая пшеница, по существу, является ценной «страховой» культурой, так как ее урожайность практически во все годы превосходит урожайность яровой пшеницы [Уланова, 1975]. В годы, неблагоприятные по условиям перезимовки, из-за повреждений и гибели озимых на части площади валовые сборы их снижаются, что особенно важно не только для конкретных субъектов, но и для крупных регионов (например, федеральных округов) и страны в целом.

Известно, что гибель озимых культур к весне происходит не только из-за неблагоприятных условий зимовки, но в значительной степени и из-за плохого состояния их осенью ко времени прекращения вегетации [Грудева, 1966; Моисейчик, 1971; Уланова, 1975; Федосеев, 1979; Страшная и др., 2014]. Так, например, в Приволжском федеральном округе из-за засухи осенью 2005 г., наблюдавшейся в субъектах южной половины округа, площадь с плохим состоянием озимых на дату прекращения вегетации составляла 14 % от их общей посевной площади в округе, а осенью 2010 г. – 16 %. Весной 2006 г. и весной 2011 г. площади в плохом состоянии озимых в округе составляли соответственно 36,6 % и

19,7 %, т.е. гибель посевов более чем на половине площади происходила еще осенью. Приведенные данные указывают на важность и актуальность проблемы оценки площади озимых культур с плохим состоянием посевов и мониторинга их состояния осенью [Страшная, Барталев и др., 2014]. Такой мониторинг особенно необходим для учёта площади с плохим состоянием посевов осенью в прогнозах ожидаемого состояния озимых культур весной после зимовки и при прогнозировании валовых сборов зерна этих культур.

С середины 1990–х годов прошлого века в Гидрометцентре России для подготовки оперативных докладов в органы власти и управления агропромышленным комплексом о состоянии озимых культур ко времени прекращения вегетации использовались данные наблюдений ГМС, результаты маршрутных обследований посевов, а по отдельным территориям (центрально-чернозёмные области, территории деятельности Северо–Кавказского и Приволжского УГМС) и данные спутниковых наблюдений, представляемые ВНИИСХМ [Клещенко, 2000].

Доступность получения однородной оперативной спутниковой информации на больших площадях в созданных современных системах ДЗЗ, в частности специализированного спутникового веб-сервиса ВЕГА (<http://pro-vega.ru>), разработанного ИКИ РАН, позволила нам провести исследования по разработке методики количественной оценки площади озимых с плохим состоянием осенью с использованием наземной и спутниковой информации по всем основным озимосеющим районам Российской Федерации [Страшная, Барталев и др., 2014; Береза и др. 2015; Береза и др., 2016 – электронный ресурс].

#### **4.1. Пространственная и временная изменчивость площади посевов озимых культур с плохим состоянием осенью**

Размеры площади с плохим состоянием озимых зерновых культур осенью имеют большую пространственную и временную изменчивость. Нами была изучена пространственная и временная изменчивость площади посевов с плохим состоянием осенью в разрезе субъектов федеральных округов России за период с 1986 по 2015 гг. Исследования проводились на основе данных маршрутных обследований

посевов озимых культур, проводимых территориальными подразделениями Росгидромета и данными Росстата о посевной площади озимых культур в каждый конкретный ГОД [[http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#) - режим доступа].

За период с 1986 по 2015 гг. проанализирована площадь с плохим состоянием посевов ( $S_0$ , %) по Центральному, Приволжскому, Южному, Уральскому, Северо-Кавказскому (Ставропольский край) федеральным округам и по Западной Сибири. Были выбраны максимальные и минимальные значения такой площади, рассчитана её изменчивость (Таблица 12).

Таблица 12. Площадь с плохим состоянием озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации ( $S_0$ , %) за период 1986–2016 гг.

Субъект РФ	Среднее значение, %	Среднее квадратическое отклонение, СКО ( $\sigma$ )	Max	Годы	Min	Годы	$\Delta$ max-min
Российская Федерация, в том числе ФО	8,6	4,6	23,0	1998	3,5	2013	19,5
Центральный ф.о.	4,2	4,7	13,0	2005, 2015	0,6	2004	12,4
Южный ф.о.	18,3	10,2	39,6	1986	3,0	2013	37,0
Северо–Кавказский ф.о.	13,2	13,3	66,2	1998	1,0	2015	65,2
Приволжский ф.о.	6,8	5,6	16,0	2010	2,0	2013	14,0
Уральский ф.о.	5,3	3,4	14,5	1995	1,2	2013	13,3
Сибирский ф.о.	3,2	2,5	9,0	2010	0	2012, 2013, 2014	9,0

Максимальные значения  $S_0$  наблюдаются в основном в южных районах европейской территории, минимальные – в нечернозёмных областях. При этом, максимальные значения  $S_0$  наблюдались в годы, когда осень была засушливой (1986, 1995, 1998, 2005, 2008, 2010, 2015 гг.), а минимальные значения в годы, когда в осенний период условия увлажнения были в основном благоприятные (2004, 2012, 2013, 2014 гг.). Наибольший размах колебаний  $S_0$  характерен для Южного и Северо–Кавказского федеральных округов. Это связано с тем, что в этих округах, по данным на 25 ноября (когда в соответствии с установленными сроками обобщаются данные по территории России), сев озимых в отдельные годы ещё продолжается и на

значительных площадях, где озимые были посеяны поздно, они ещё не взошли и, согласно действующей методике по оценке состояния озимых, невзошедшие озимые относились к плохим [Борисоглебский, 1967; Моисейчик, 1978]. В этих же округах соответственно отмечалась и наибольшая изменчивость (СКО 10,2–13,3 %). В целом по Российской Федерации СКО составляет 4,6 %.

Для изучения погодичных изменений площади озимых культур с плохим состоянием осенью ко времени прекращения вегетации ( $S_0$ ) строились графики динамики  $S_0$  по федеральным округам, а также по субъектам за последние 17 лет (2000–2016 гг.).

Так, анализ динамики  $S_0$  по Приволжскому федеральному округу, представленный на рис. 27, показал, что в среднем размеры такой площади от начала к концу периода практически не изменились, тренд  $S_0$  за этот период почти не выражен, хотя колебания по годам были значительными.



Рис. 27. – Динамика площади озимых зерновых культур с плохим состоянием осенью ( $S_0$ , %) в Приволжском федеральном округе, Саратовской, Кировской областях за период 2000–2016 гг.

В начале периода в целом по округу  $S_0$  составляла 7,9 % от общей посевной площади в округе, в конце периода – 7,5 %; среднее квадратическое отклонение (СКО) составило 2,3 %. Наибольшая площадь плохих посевов (14–16 % от общей посевной площади в округе) наблюдалась в засушливые осенние периоды 2005, 2010 и 2014 годов, в отдельных субъектах на юге округа (например, Самарская,

Саратовской области) она достигала 24–38 %. В соответствии с [Грудева, 1966; Борисоглебский, 1967; Моисейчик, 1978], к плохим посевам осенью в конце вегетации, как уже отмечалось выше, относятся озимые, не давшие всходов, слабообразованные (в фазах всходы, третий лист) и изреженные на 30 % и более, а также раскустившиеся, но изреженные на 50 % и более на площади, превышающей 50 % площади всего поля.

На этом же рисунке (рис. 27) показана динамика площади озимых культур в плохом состоянии ко времени прекращения вегетации также по Саратовской и Кировской областям, разных по агроклиматическим условиям. Можно видеть, что временной ход  $S_0$  в этих субъектах весьма различен, что объясняется в основном различными условиями увлажнения и термического режима и в определенной степени соотношением посевных площадей пшеницы и ржи в этих субъектах: в Кировской области преобладают посевы озимой ржи, в Саратовской области – озимой пшеницы. Известно, что озимая рожь при одинаковых условиях осенью кустится лучше, чем озимая пшеница, следовательно, лучшим бывает и её состояние к концу вегетации.

В Саратовской области  $S_0$  от начала к концу периода увеличивается, здесь осенью часто наблюдаются засушливые условия, изменчивость (СКО) составляет 9,11 %. В Кировской области, где увлажнение в основном достаточное, изменчивость  $S_0$  небольшая, СКО составляет 3,04 % (как и в большинстве субъектов северной половины округа),  $S_0$  в той области от начала к концу периода изменилось незначительно (даже несколько уменьшилась).

Следует отметить, что в районах, где часто наблюдаются засушливые условия, особенно важен учёт площади с плохим состоянием озимых культур осенью в прогнозе перезимовки озимых и состоянии их к началу вегетации. Так, например, в Оренбургской и Самарской областях, где осенью 2007 и 2010 гг. в плохом состоянии озимые были на 17,0 и 30,0 % площади (от общей посевной), а условия зимовки были удовлетворительными, недобор урожая озимых можно ожидать на указанной площади уже осенью (Таблица 13).



Таблица 13. Влияние агрометеорологических условий осенью и условий зимовки озимых культур на состояние их весной.

Территория	Год	Площадь озимых с плохим состоянием, %			Агрометеорологические условия осенью (сентябрь)		Средняя минимальная температура почвы на глубине узла кущения озимых (3 см) за зиму, °С
		осенью	весной	разница	сумма осадков, мм	ГТК	
Дефицит влаги осенью							
Самарская область	2010–2011	30,0	34,0	4	23	0,55	-9
Саратовская	2003–2004	5,0	5,5	0,5	31	0,71	-2
Оренбургская	2007–2008	17,0	19,2	2,2	18	0,50	-8
Повреждение морозами (вымерзание)							
Самарская	2009–2010	3,0	22,5	19,5	18	0,71	-13
Саратовская	2002–2003	8,0	30,9	22,9	45	0,83	-12
Оренбургская	2012–0213	0,0	19,5	19,5	22	0,61	-13
Дефицит влаги осенью и повреждение морозами (вымерзание)							
Самарская	2005–2006	18,0	32,7	14,7	18	0,43	-10
Саратовская	2005–2006	24,0	33,6	9,6	14	0,34	-10
Оренбургская	2010–2011	21,0	42,9	21,8	17	0,36	-15

В Центральном федеральном округе озимые пшеница и рожь – ведущие культуры региона. Основная площадь озимых в округе (около 3,0 млн. га) занята озимой пшеницей, на долю которой в округе приходится в среднем 96 % посевной площади озимых, озимой рожью занято около 4 % посевной площади. В рамках наших исследований была проанализирована динамика площади озимых культур с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации ( $S_0$ ) по субъектам округа за последние 17 лет (2000–2016 гг.) и в целом по округу по данным маршрутных обследований, проводимых в областных подразделениях Росгидромета.

На рис. 28 показана динамика  $S_0$  по Воронежской области, где посевная площадь озимых культур самая большая в округе, а осень часто бывает засушливой. В отдельные годы (например, в 2010 г.)  $S_0$  достигала 18 % от общей посевной площади. При этом в области в целом выявилась положительная динамика  $S_0$ : в среднем от начала к концу периода  $S_0$  увеличивалась от 1,3 % в начале периода до 7,8 % в конце его. Почти аналогичная положительная динамика  $S_0$  наблюдается и в других центральных чернозёмных областях, тогда как в нечернозёмных областях  $S_0$  к концу периода в основном уменьшается. На этом же рисунке показана динамика  $S_0$  и в целом по ЦФО. Можно видеть, что временной ход динамики  $S_0$  по Воронежской области подобен ее ходу по ЦФО. Сходство динамики  $S_0$  в Воронежской области (как и в других центральных чернозёмных областях) с динамикой  $S_0$  в ЦФО объясняется большим удельным весом озимых культур в этих областях, тогда как в северных субъектах округа удельный вес их в общей структуре посевных площадей значительно меньше. При этом в нечернозёмных областях, где увлажнение в большинстве лет достаточное, наблюдалось в разной степени выраженная тенденция уменьшения  $S_0$ , как, например, в Ивановской области (рис. 28).

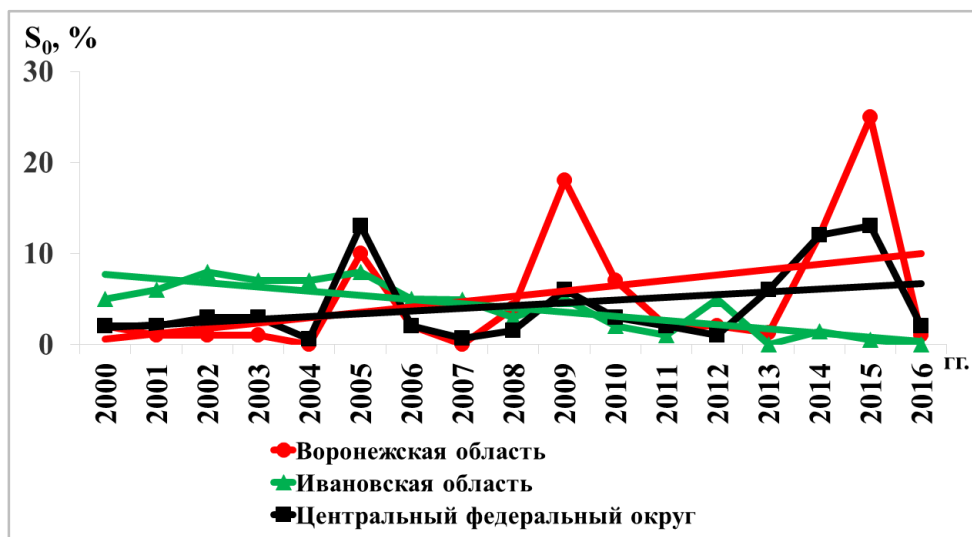


Рис. 28. – Динамика площади с плохим состоянием озимых зерновых культур ( $S_0$ , %) в Центральном федеральном округе, Воронежской, Ивановской областях осенью (2000–2016 гг.).

Наши исследования условий увлажнения, проведённые на основе использования коэффициента увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК), выявили, что в центральных чернозёмных областях в период 1999–2015 гг. (Таблица 14). наблюдалась выраженная тенденция ухудшения условий увлажнения по сравнению с периодом 1982–1998 гг., что в значительной степени отразилось на динамике  $S_0$ .

Анализ данных, приведенных в Таблице 14 показывает, что во втором периоде средние значения ГТК почти повсеместно (кроме Тульской и Рязанской областей) уменьшились (в среднем на 10–20 %). В субъектах южной половины округа во втором периоде изменчивость ГТК увеличилась, тогда как в северной половине округа увеличения изменчивости ГТК практически не наблюдалось. В центральных чернозёмных областях и изменчивость площади с плохим состоянием озимых осенью ( $S_0$ ), как показали наши расчёты, значительна (СКО составляло по субъектам в основном от 6 до 9 %). В связи со сказанным расчёты количественной оценки размеров площади с плохим состоянием озимых культур ко времени прекращения вегетации особенно значимы для территории южной половины ЦФО.

Таблица 14. Изменчивость (СКО) сильных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) в августе в Центральном федеральном округе за периоды 1982–1998 гг. и 1999–2015 гг.

Субъект	1982–1998 гг.		1999–2015 гг.	
	Среднее значение ГТК	СКО	Среднее значение ГТК	СКО
Белгородская область	0,86	0,41	0,65	0,49
Брянская	1,20	0,69	1,01	0,56
Владимирская	1,24	0,57	1,06	0,55
Воронежская	0,73	0,33	0,56	0,38
Ивановская	1,27	0,65	0,99	0,53
Калужская	1,24	0,82	1,18	0,69
Костромская	1,50	0,71	1,32	0,55
Курская	0,96	0,35	0,78	0,63
Липецкая	0,85	0,39	0,83	0,62
Московская	1,35	0,68	1,20	0,62
Орловская	1,21	0,63	0,95	0,76
Рязанская	0,92	0,43	0,99	0,51
Смоленская	1,41	0,98	1,33	0,66
Тамбовская	0,75	0,32	0,74	0,46
Тверская	1,51	0,70	1,42	0,58
Тульская	1,16	0,80	1,25	0,83
Ярославская	1,58	0,74	1,24	0,54

В Южном и Северо–Кавказском федеральных округах озимые культуры в структуре посевных площадей всех зерновых и зернобобовых культур занимают ведущее место. Озимая пшеница размещается на площади около 7 млн. га, что составляет (вместе с тритикале) около 93 % площади, занятой всеми озимыми зерновыми культурами; на долю озимой ржи приходится около 1,05 %, озимого ячменя – около 6 % от общей площади озимых культур в округах (данные Росстата за 2016 г.).

В связи с тем, что условия осенней вегетации озимых зерновых культур в южной половине ЮФО и северной половине С–К федерального округа в большинстве лет бывают благоприятными и озимые, посеянные в обычные (средние) сроки прекращают вегетацию в основном в хорошем состоянии, наиболее подробный анализ влияния агрометеорологических условий на состояние озимых культур в конце вегетации проводился нами в основном для северной половины ЮФО – Ростовской и Волгоградской областей. В южных районах этой территории к

плохим посевам осенью чаще всего относятся в основном озимые, посеянные в поздние сроки, которые ко времени прекращения активной вегетации в этих районах не взошли. В этих районах всходы часто появляются и идет развитие растений при наблюдающихся частых потеплениях уже в зимний период.

Активная вегетация озимых зерновых культур на большей части территории Ростовской и Волгоградской областей прекращается во второй декаде ноября, в северных районах этих субъектов – в первой декаде ноября. В отдельные годы при возвратах тепла в конце ноября – декабре озимые могут вновь возобновлять вегетацию. Маршрутные обследования посевов озимых культур и определение площадей озимых в плохом состоянии ко времени прекращения вегетации проводятся в основном во второй декаде ноября. В этот же период определяется площадь таких озимых и по данным спутниковых наблюдений, хотя мониторинг состояния посевов проводится в течение всего периода осенней вегетации.

Как известно, тепла для вегетации озимых культур, посеянных в средние сроки (конец августа – первая половина сентября), в рассматриваемых субъектах практически во все годы бывает достаточно для их роста и развития, лимитирующим фактором в осенний период на большей части территории Ростовской и Волгоградской областей, а также в Республике Калмыкия, является влага и при её резком дефиците сроки сева сдвигаются на более поздние. Нами рассчитана повторяемость (вероятность, %) засушливых условий (сильных атмосферных засух) в августе и сентябре. Оказалось, что август в указанных субъектах часто бывает засушливым, причем в последние 17 лет засушливость увеличилась. Так, вероятность сильных атмосферных засух (когда  $ГТК \leq 0,60$ ) в этом месяце в Волгоградской и Ростовской областях в период 1982–1998 гг. составляла 59 и 76 %, тогда как во второй рассмотренный период (1999–2015 гг.) она увеличилась до 94 % и 88 % соответственно (Таблица 15).

Можно сделать вывод, что август в последние 17 лет в этих субъектах стал «суше», что осложняло условия для сева озимых, так как при сильных атмосферных засухах почва быстро теряет влагу, иссушается ее верхний слой и появление всходов задерживается до 20 дней и более. Изреженность и площадь с плохим состоянием посевов в таких случаях увеличивается. В сентябре вероятность

атмосферных засух в Волгоградской области во втором периоде по сравнению с первым увеличилась (от 53 до 65 %), в Ростовской области она оставалась одинаковой (35 %).

Таблица 15. Риски (вероятность, %) сильных атмосферных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) в Южном федеральном округе за период 1982–2015 гг.

Субъект РФ	1982–1998 гг. Вероятность, % $ГТК \leq 0,60$			1999–2015 гг. Вероятность, % $ГТК \leq 0,60$		
	август	сентябрь	август–сентябрь	август	сентябрь	август–сентябрь
Волгоградская область	59	53	53	94	65	65
Краснодарский край	47	24	24	59	41	24
Республика Калмыкия	94	76	82	82	65	74
Ростовская область	76	35	35	88	35	47

Анализ динамики площади озимых культур в плохом состоянии ко времени прекращения вегетации показал, что, как в Ростовской, так и в Волгоградской областях от начала рассмотренного периода (2000 г.) до 2015 года такая площадь озимых в среднем увеличивалась. В Волгоградской области в начале периода  $S_0$  составила около 1 % от общей посевной площади в области, в конце периода она увеличилась (в среднем) до 17,7 %. Положительным оказался тренд  $S_0$  и в Ростовской области, где  $S_0$  от 2,9 % в начале периода увеличилась в среднем к 2015 году до 9,0 % (рис. 29). В Республике Калмыкия, где вероятность сильных засух в августе и в сентябре уменьшалась, тренд площади озимых в плохом состоянии практически не выражен, т.е. увеличения  $S_0$  к концу периода в среднем не наблюдалось. В целом по Южному федеральному округу тренд  $S_0$  положительный, но выражен слабо,  $S_0$  от начала периода (7,5 %) увеличился до 9,8 %. Значительной ( $\geq 10$  % от общей посевной площади)  $S_0$  была в округе в 2002, 2005, 2009, 2012, 2014 и 2015 гг. В Волгоградской области, где изменчивость  $S_0$  большая (СКО составляет около 12 %), наибольшие площади  $S_0$  наблюдались в 2005, 2009, 2010, 2012, 2014 и 2015 гг. При этом максимальная  $S_0$  в 2014 г. (около 40 % от общей посевной площади) наблюдалась не только из-за атмосферной засухи, но и из-за сильной почвенной засухи и поздних сроков сева. В связи с этим, на значительной площади

ко времени прекращения вегетации озимые в этой области не взошли (невзошедшие озимые, как указывалось выше, относятся к плохим). В Ростовской области большая  $S_0$  (более 10 % от общей посевной площади) наблюдалась в 2007, 2009, 2011, 2012, 2014 и 2015 гг.



Рис. 29. – Динамика площади в плохом состоянии озимых зерновых культур ( $S_0$ , %) в Южном федеральном округе, Ростовской и Волгоградской областях осенью (2000–2016 гг.).

В Уральском и Сибирском федеральных округах посевная площадь озимых зерновых культур небольшая. При этом в СФО озимые культуры возделываются в основном в Западной Сибири, в связи с чем наши исследования проводились только на территории субъектов Западной Сибири. В Уральском федеральном округе в среднем за последние два года площадь озимых культур составила всего 44 тыс. га, в СФО около 225 тыс. га. Основные посевы озимых сосредоточены в лесостепных районах территории, где снежный покров более высокий, чем в степных районах и залегает равномерно, что обеспечивает защиту посевов от очень сильных морозов в период зимовки. Наиболее распространенной культурой является озимая рожь, однако в последние годы в связи с выведением более морозостойких сортов озимой пшеницы площади посева этой культуры увеличились, особенно в ряде субъектов Западной Сибири, где посевная площадь озимых большая (Алтайский край и Новосибирская область) и за последние два года в среднем площадь посевов озимой пшеницы значительно превысила посевную площадь озимой ржи.

Сроки сева озимых на большей части территории УФО и Западной Сибири приходится в среднем на конец второй – третью декаду августа, всходы появляются в основном в конце августа – первой декаде сентября. Вегетация растений в большинстве озимосеющих районов прекращается в конце первой-начале второй декад октября. Таким образом, основной период вегетации озимых приходится на сентябрь, и состояние их ко времени прекращения вегетации определяется в основном тепло- и влагообеспеченностью в этот период.

Нами была изучена динамика площади озимых культур с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации в целом по УФО и СФО, а также по отдельным субъектам этой территории за 2000–2016 гг.

Как можно видеть на рис. 30 (а, б), в СФО, как и в основных озимосеющих субъектах этого округа (Алтайский край, Новосибирская, Омская области)  $S_0$  за рассмотренный период уменьшилась: в округе от 3,8 % в начале периода (2000 г.) до 1,3 % в конце его (2016 г.). В Алтайском крае наибольшая  $S_0$  (9–10 % от общей посевной площади) наблюдалась в 2000, 2003, 2010 гг., в Омской области такие же значения  $S_0$  наблюдались в 2000, 2003 гг., а в 2010 году  $S_0$  была около 15 %. В Челябинской области (УФО) в 2003 и 2005 гг.  $S_0$  составляла около 15 %, а в 2010 г. – 20 % от общей посевной площади (рис. 31). Следует отметить, что в этой области в августе 2003 года (период массового сева) наблюдалась засуха средней интенсивности (значение ГТК было 0,68), а в 2005 году – засуха почти такой же интенсивности наблюдалась в и августе, и в сентябре (период сева и вегетации). В 2010 году в августе и сентябре в Челябинской области наблюдалась сильная засуха (значение ГТК составляло соответственно 0,58 и 0,27). В Омской области в 2000 году в августе и сентябре наблюдалась засуха средней интенсивности (ГТК 0,78 и 0,80), в 2003 году в сентябре наблюдалась сильная засуха (ГТК 0,56), а в 2010 году, когда  $S_0$  была наибольшей за период, сильная засуха наблюдалась и в августе (ГТК 0,54), и в сентябре (ГТК 0,38). Похожая ситуация складывалась и в Курганской области. В северной половине УФО увлажнение почвы во все годы рассматриваемого периода было достаточным, и в целом по округу тренд  $S_0$  почти не выражен. Таким образом, исходя из сказанного выше, можно утверждать, что и на значительной части территории УФО и СФО условия увлажнения являются



важным фактором как в период сева озимых, так и в основной период их роста и развития (сентябрь).

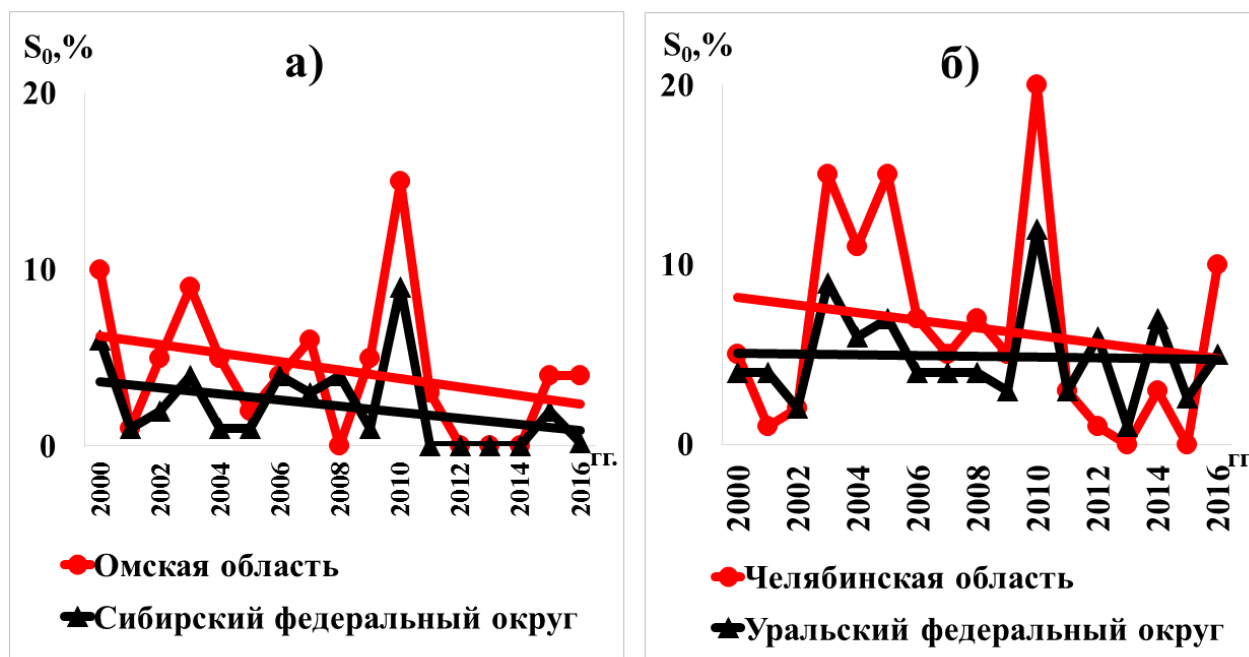


Рис. 30. – Динамика площади с плохим состоянием озимых зерновых культур осенью ( $S_0$ , %) в Омской области и Сибирском федеральном округе (а), в Челябинской области и Уральском федеральном округе (б).

#### 4.2. Основы разработанной методики расчёта количественной оценки состояния посевов озимых культур ко времени прекращения вегетации

Актуальность разработки методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур в осенний период (площади с плохим состоянием их ко времени прекращения вегетации) с использованием наземной информации и спутниковых данных в основных озимосеющих районах Российской Федерации обусловлена, в первую очередь, возникшими трудностями в определении размеров площади озимых с плохим состоянием из-за сокращения плотности сети пунктов наземных наблюдений, сложности проведения маршрутных обследований посевов и фрагментарностью имевшейся в системе Росгидромета в начале 2000-х годов спутниковой информации. При этом возросли запросы органов власти и управления к точности такой информации, ежегодно представляемой в эти органы в виде аналитических докладов.

Проведённые нами исследования по территории субъектов Приволжского федерального округа показали хорошую сопряжённость наземных данных о состоянии озимых культур ко времени прекращения вегетации осенью и спутниковых измерений в один и тот же период [Страшная, Барталев, Чуб (Береза), 2014]. Значения NDVI тесно коррелируют с показателями растительной массы озимых –  $k \cdot h$  ( $r = 0,72-0,80$ ). Полученные результаты исследований послужили основой для разработки методики количественной оценки состояния озимых зерновых культур осенью (площади с плохим состоянием их ко времени прекращения вегетации) с использованием приёма комплексирования наземных и спутниковых данных.

В условиях сокращения данных наземных наблюдений, предложенный нами способ совместного использования наземных и спутниковых данных для количественной оценки площади с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации, на наш взгляд, может быть применён в практике оперативной количественной оценки состояния посевов в определённые периоды их роста и развития, в том числе и в конце осенней вегетации. При разработке методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации (площади с плохим состоянием) по данным наземной и спутниковой информации нами использовались методы корреляционного и регрессионного анализа, а также сравнительно–графический метод исследования [Уланова, 1964; Пановский, Брайер, 1967; Уланова, Сиротенко, 1968; Жуков, 1989].

Все субъекты, для которых нами разработана новая методика, имеют различные природно – климатические условия; соответственно, регрессионные модели для расчёта площади с плохим состоянием озимых осенью разрабатывались нами для отдельных субъектов или группы субъектов, однородных по природно-климатическим условиям.

В состав наземной информации о площади озимых культур с плохим состоянием осенью входили, кроме данных метеорологических и агрометеорологических наблюдений конкретных гидрометстанций, данные маршрутных обследований территориальных подразделений Центрального УГМС, Центрально-Чернозёмного УГМС, Верхне–Волжского, Приволжского, Северо-

Кавказского, Уральского и Западно–Сибирского УГМС, а также УГМС Республик Татарстан и Башкортостан с 2003 по 2015 г. По данным маршрутных обследований в Гидрометцентр России поступают данные о площади озимых культур в плохом состоянии (в тыс. га) и процентах (%) от общей посевной площади озимых в субъекте. Данные о посевных площадях озимых предоставляются Росстатом в каждый конкретный год [<https://fedstat.ru/indicator/31328> – режим доступа].

Спутниковая информация базировалась на созданном нами архиве данных веб-сервиса ВЕГА (выбирались значения вегетационного индекса NDVI, максимально близкие к декадам вегетации) за период 2003–2015 гг. Отметим, под NDVI здесь и далее мы понимаем спектрально–отражательные свойства зелёной биомассы посевов, выраженные величиной указанного индекса.

Для рассматриваемой территории мы разработали преимущественно однотипную программу исследований. При этом наибольшее внимание уделялось исследованиям влияния сложившихся агрометеорологических условий на размеры площади озимых в плохом состоянии ко времени прекращения вегетации в Приволжском федеральном округе, особенно в южной его половине, где осенью наиболее часты засухи, что отрицательно сказывается на состоянии озимых ко времени прекращения вегетации, а также в Центральном федеральном округе, где в южных районах также нередки засухи и северных районах Южного федерального округа. В северных районах Центрального и Приволжского федеральных округов в отдельные годы наблюдается недостаточно тепла для развития растений, что ухудшает их состояние.

Средние характеристики агрометеорологических показателей (количество осадков, температура воздуха, условия увлажнения в период начала сева озимых в августе, а также в сентябре по декадам и месяцам этого периода) рассчитывались по данным наблюдений ГМС, привлеченным к подаче информации в Гидрометцентр России.

Созданная нами база данных (зарегистрирована в Роспатенте – Свидетельство № 2015621381 от 08 сентября 2015 г.) для проведения исследований и разработки методики расчёта площади озимых культур с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации включала осредненные по субъектам данные о температуре

воздуха, запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы (0–20 см), данные об осадках, а также NDVI по декадам и месяцам в период осенней вегетации за 2003–2015 гг. Все используемые нами агрометеорологические данные и NDVI рассчитывались в среднем по субъектам федеральных округов.

Основой разработанной методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации (площади в плохом состоянии) являются линейные регрессионные модели, построенные с использованием наземной и спутниковой информации с учётом различной тесноты связей площади с плохим состоянием озимых ко времени прекращения вегетации ( $S_0$ ) с агрометеорологическими параметрами и NDVI.

При разработке методики ставились задачи:

- выявить наиболее значимые агрометеорологические показатели, влияющие на состояние озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации в современных условиях;

- исследовать возможность использования данных спутниковых наблюдений для расчётов количественной оценки состояния озимых культур осенью в комплексе с наземными данными;

- определить основные факторы, влияющие на состояние посевов ко времени прекращения вегетации осенью, и тем самым, определяющие площадь с плохим состоянием озимых в этот период в разных по природно–климатическим условиям субъектах Приволжского, Центрального, Южного и Северо–Кавказского федеральных округов, где сосредоточены наибольшие площади озимых культур, а также в Уральском и Сибирском (Западная Сибирь) федеральных округах.

### **4.3. Количественная оценка площади посевов озимых культур с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации по субъектам федеральных округов**

Основными факторами, определяющими состояние озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации на конкретных полях, являются температурные условия и влагообеспеченность растений. Разработанные в 70-х годах методики оценки площади озимых с плохим состоянием осенью основывались на указанных данных наблюдений гидрометеостанций [Грудева, 1966; Уланова, 1975; Максименкова, 1976; Страшная, 1993]. В условиях наблюдаемых климатических изменений, а также в связи с сокращением сети агрометеорологических станций Росгидромета, в наших исследованиях по разработке методики расчёта количественной оценки состояния озимых (площади с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации), использовались наземные наблюдения гидрометстанций, а также данные спутниковых наблюдений.

В работах [Huete A. и др., 1999; Bhuiyan C. и др., 2006; Balzter H. и др., 2007; Лупян, Савин и др., 2011; Плотников, Барталев и др., 2008, 2011; Савин и др., 2011; Черепанов, 2011; Jamali S. и др., 2014; Толпин, Лупян и др., 2014] указывается, что одним из наиболее объективных подходов для оценки состояния сельскохозяйственных культур является анализ временного хода вегетационных индексов. Временной ход и тренды вегетационного индекса успешно применены для анализа состояния растительности на засушливых землях юго-востока европейской части России [Золотокрылин, Титкова, 2011; Золотокрылин и др., 2016]. Для разных видов сельскохозяйственных культур временной ход вегетационных индексов имеет свои особенности. Для оценки состояния озимых зерновых культур, вегетирующих в осенний период, эта задача решается существенно легче, чем в условиях весенне-летнего периода, так как другие культуры (за исключением отдельных видов многолетних трав) осенью не вегетируют. При предложенном ИКИ РАН подходе решается задача расчёта за определенное количество лет «нормальной» или средней многолетней динамики NDVI и на основании анализа отклонений в ходе NDVI в любом текущем году от рассчитанной средней многолетней динамики (т.е. «нормы») можно сделать вывод и

об отклонении оценки состояния посевов озимых текущего года ( $S_0^{\text{Тек}}$ ) от средней многолетней в данном субъекте («хуже» или «лучше», в % от «нормы») [Барталев, Лупян и др., 2006; Плотников, Барталев и др. 2008; Толпин, Лупян и др., 2014].

#### **4.3.1. Приволжский федеральный округ**

В Приволжском федеральном округе в связи с большой его протяженностью с севера на юг агроклиматические условия для возделывания озимых зерновых культур весьма разнообразны. Озимые зерновые культуры в округе занимают в среднем 3,5–3,8 млн. га, что меньше, чем в Южном федеральном округе, однако их доля в зерновом балансе страны в благоприятные годы значительна и составляет до 15–17 % от общего валового сбора зерна озимых культур, производимого в стране. Следует отметить, что в связи с «потеплением» зим и улучшением условий зимовки [Вильфанд, Страшная, Береза, 2016; Страшная, 2007] посевные площади пшеницы в большинстве субъектов округа в последние годы увеличились на 15–25 %.

Активная вегетация озимых зерновых культур на территории ПФО прекращается при переходе средней суточной температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения. В северных районах округа это происходит в среднем в первой пятидневке октября, в центральных районах в период 13–17 октября, на юге округа – 20–25 октября. Основными факторами, определяющими состояние зимующих озимых культур осенью ко времени прекращения вегетации на конкретных полях, являются температурные условия и влагообеспеченность растений [Грудева, 1966; Моисейчик, 1975; Уланова, 1975; Максименкова, 1976]. В условиях наблюдаемого глобального потепления и увеличения в связи с этим продолжительности периода осенней вегетации обеспеченность озимых теплом для их роста и развития в осенний период даже на севере округа (например, Кировская область) при посеве их в рекомендуемые сроки [Страшная, Максименкова, Чуб (Береза), 2011] в большинстве лет достаточна для образования у них ко времени прекращения вегетации трёх – четырёх побегов кущения. Сумма эффективной температуры при этом составляет 250 °С. Однако в отдельные годы в связи с поздним созревaniem парозанимающих культур и севе озимых позже оптимальных сроков тепла для их развития бывает недостаточно. В южных районах округа тепла осенью практически

всегда бывает достаточно для хорошего кущения – образования 3–6 побегов. Сумма эффективных температур составляет в основном 300 °С [ШигOLEV, 1957]. Однако влагообеспеченность озимых осенью в период сева и вегетации (август-сентябрь) в этих районах часто бывает недостаточной, а в отдельные годы – плохой, что обуславливает изреженность и ухудшение состояния озимых культур. Наши исследования показали, что в Самарской, Саратовской и Оренбургской областях, например, вероятность сильных засух в августе, характеризуемых нами гидротермическим коэффициентом увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК), равным 0,60 и менее, составляет 38–58 %, т.е. такие засухи случаются в августе в этих субъектах в 4–6 годах из 10. Частыми такие засухи бывают здесь и в сентябре – вероятность их составляет 34–38 % [Вильфанд, Страшная, 2011]. В Республиках Татарстан, Мордовия и Чувашия, а также в Пензенской и Ульяновской областях вероятность сильных засух в августе составляет 26–34 %, почти не бывает засух в августе (вероятность 6–10%) в Пермском крае и Кировской области (Таблица 16). Сентябрь в округе является более влажным, по сравнению с августом, месяцем, однако в субъектах юго-восточной части округа (Самарская, Саратовская, Оренбургская области) нередки сильные засухи и в сентябре (вероятность 34–38 %).

При анализе рассчитанных нами погодичных значений ГТК в августе в субъектах ПФО за периоды 1982–1998 и 1999–2015 гг. оказалось, что средние значения этого показателя в большинстве субъектов во втором периоде, по сравнению с первым, уменьшились, что указывает на ухудшение условий увлажнения во втором периоде (Таблица 17). Увеличилась и изменчивость ГТК, характеризуемая средним квадратическим отклонением – СКО. Это вызывает необходимость постоянного мониторинга условий вегетации и состояния посевов озимых культур как по наземным, так и по спутниковым данным.

Таблица 16. Риски (вероятность, %) сильных атмосферных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) за период 1966–2015 гг. в субъектах Приволжского федерального округа.

Субъект РФ	1966–2015 гг. Вероятность (%) $ГТК \leq 0,60$		
	август	сентябрь	август–сентябрь
Республика Башкортостан	18	16	4
Марий Эл	16	14	6
Мордовия	26	18	12
Татарстан	26	18	4
Удмуртская Республика	14	8	0
Чувашская	26	20	12
Кировская область	6	2	0
Нижегородская	16	10	2
Оренбургская	58	38	42
Пензенская область	30	20	14
Пермский край	10	6	0
Самарская область	38	34	26
Саратовская	56	34	44
Ульяновская	34	20	10

Таблица 17. Изменчивость (СКО) сильных засух ( $ГТК \leq 0,60$ ) в августе в Приволжском федеральном округе за периоды 1982–1998 гг. и 1999–2015 гг.

Субъект	1982–1998 гг.		1999–2015 гг.	
	Среднее значение ГТК	СКО	Среднее значение ГТК	СКО
Республика Башкортостан	1,23	0,49	0,92	0,33
Марий Эл	1,23	0,39	1,01	0,54
Мордовия	0,94	0,45	1,26	0,77
Татарстан	1,07	0,44	1,03	0,52
Удмуртская Республика	1,41	0,58	1,25	0,52
Чувашская	0,94	0,42	0,95	0,51
Кировская область	1,45	0,35	1,37	0,47
Нижегородская	1,23	0,49	1,14	0,58
Оренбургская	0,71	0,38	0,55	0,28
Пензенская	0,92	0,40	0,93	0,51
Пермский край	1,65	0,64	1,56	0,76
Самарская область	0,88	0,50	0,70	0,38
Саратовская	0,64	0,11	0,49	0,28
Ульяновская	0,89	0,34	0,87	0,51



На начальном этапе исследований нами были проанализированы «исторические» данные о динамике индекса NDVI в период осенней вегетации озимых культур по ряду субъектов округа в годы, когда увлажнение территорий было достаточным (например, осень 2011 г. и 2013 г.), и в годы, когда наблюдалась засуха (2010 г.). Конкретные значения NDVI в эти годы существенно различались. По Саратовской области, например, рассчитанная нами по декадам динамика NDVI показана на рис. 31, где можно видеть, что в засушливую осень 2010 г. значение этого индекса в течение всего рассмотренного осеннего периода было значительно ниже, чем осенью 2011 г. и 2013 г., когда увлажнение было достаточным. Особенно низкий уровень NDVI (0,23) проявлялся в период появления всходов озимых (при поздних сроках сева) и в начале вегетации (с конца августа по 21 сентября 2010 г.), тогда как при достаточном увлажнении (в 2011 и 2012 гг.) значение индекса было 0,32–0,38, а в конце вегетации – 0,60–0,70. При этом значения индекса существенно возрастали при улучшении условий увлажнения в конце сентября – начале октября. Значительная разница значений индекса во влажные и засушливые годы наблюдалась по большинству субъектов южной половины европейской территории.

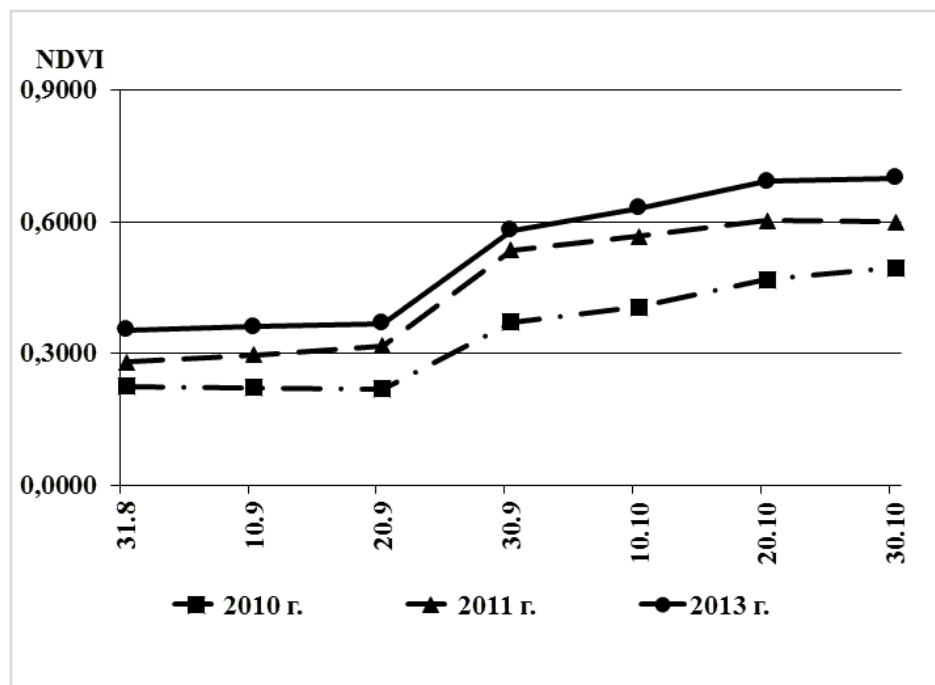


Рис. 31. – Динамика NDVI по Саратовской области за 2010, 2011 и 2013 гг.

Нами исследовалась также сопряженность наземных данных наблюдений гидрометстанций Росгидромета по декадам с максимально приближенными к ним в

пространственном и временном отношении значениям NDVI по спутниковым данным на полях озимых культур. С этой целью строились графики динамики NDVI и основных агрометеорологических параметров по декадам вегетации: количества осадков ( $P$ , мм), температуры воздуха ( $T$ , °C), запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы ( $W_{0-20}$ , мм), показателя растительной массы озимых, выраженной нами произведением кустистости на высоту растений ( $k \cdot h$ ). Была выявлена вполне удовлетворительная согласованность динамики этих показателей на преобладающей территории округа. При этом наиболее четко она проявлялась в годы, когда осень была засушливой. В качестве примера такие графики (динамики  $W_{0-20}$ ,  $k \cdot h$  и NDVI) приведены по Республике Татарстан за 2010 и 2012 годы (рис. 32).

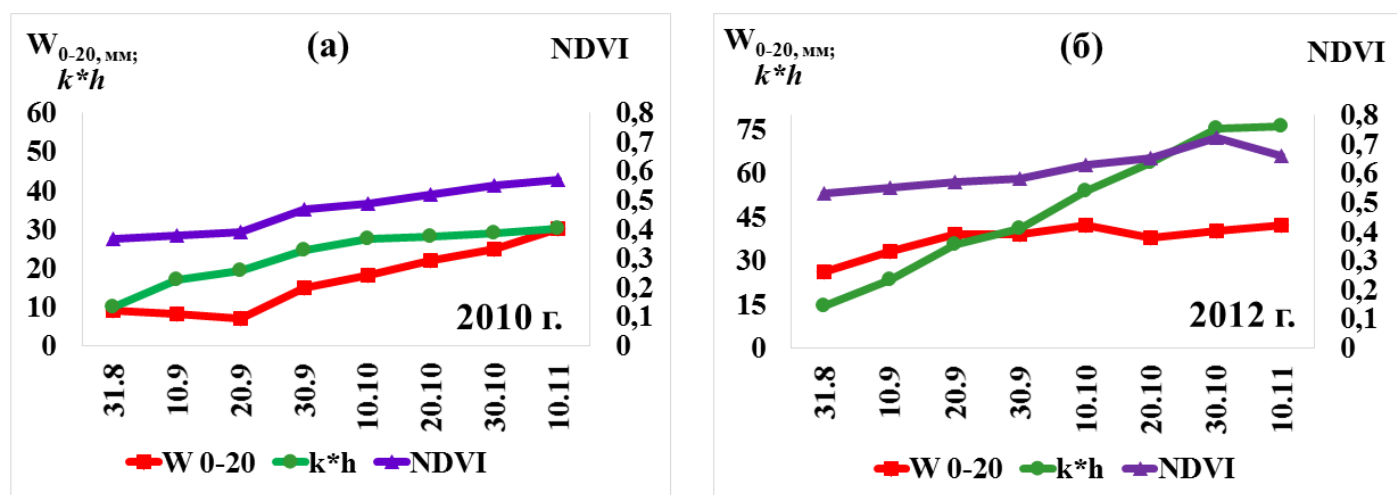


Рис. 32. — Динамика запасов продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см ( $W_{0-20}$ ), показателя растительной массы озимых культур ( $k \cdot h$ ) и индекса NDVI по Республике Татарстан за 2010 (а) и 2012 (б) годы.

При проведении исследований для субъектов ПФО была рассчитана также средняя многолетняя динамика (временной ход) NDVI для озимых культур по декадам вегетации осенью, которая сравнивалась с динамикой NDVI отдельных лет. Нами показано, что эти различия динамики хорошо проявляются по годам в районах южной половины округа и в связи с этим достаточно корректно можно рассчитать отклонение NDVI от «нормы» в текущем году и, следовательно, приближённо судить о величине площади в плохом (или хорошем) состоянии (в % от средней  $S_0$ ,

для того или иного субъекта) в субъектах, где, как указывалось выше, появление всходов, рост растений и накопление растительной массы озимых культур часто лимитируется дефицитом влаги, а посевная площадь озимых большая. Особенно наглядно это наблюдается в годы, контрастные по условиям увлажнения осенью.

На рис. 33 в качестве примера показана динамика NDVI по Республике Татарстан в достаточно благоприятную по условиям увлажнения осень 2012 года и в засушливую осень 2009 года по сравнению со средним значением NDVI, рассчитанным нами за период 2003–2015 гг. (по данным веб-сервиса BEGA).

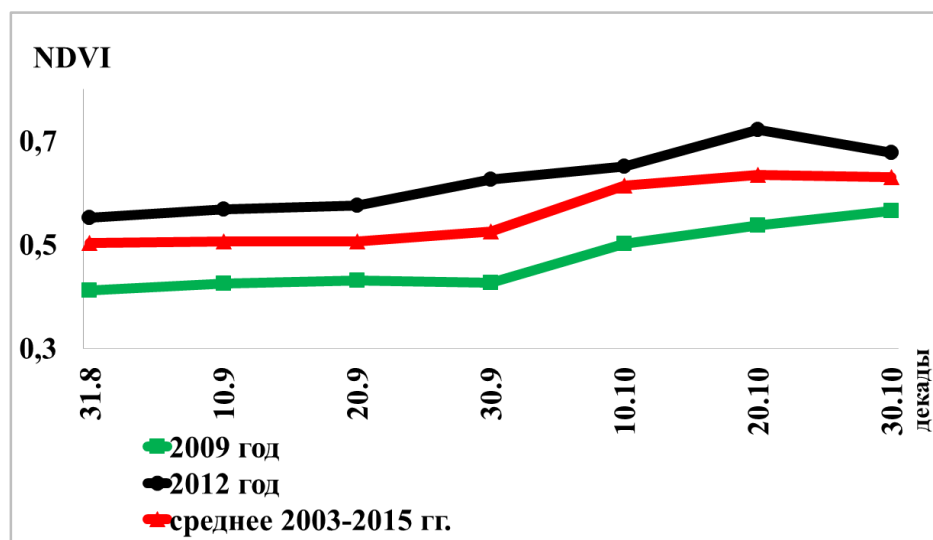


Рис. 33. – Динамика NDVI по Республике Татарстан.

Для разработки методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур осенью по наземным данным и данным спутниковых наблюдений были рассчитаны матрицы связей площади озимых в плохом состоянии их осенью с осредненными по субъектам, входящим в ПФО, показателями условий тепло- и влагообеспеченности растений в период сева и осенней вегетации, а также с показателем растительной массы озимых и значениями вегетационного индекса (NDVI). Всего рассматривалось 15 параметров.

По большинству субъектов теснота связей площади озимых культур в плохом состоянии осенью ( $S_0$ , %) с агрометеорологическими параметрами за различные периоды (с количеством осадков, температурой воздуха, запасами продуктивной влаги в пахотном слое почвы, NDVI) оказалась наиболее значимой с осредненными параметрами за период третья декада августа – вторая декада сентября, а с

показателем растительной массы и NDVI – на конец вегетации. Коэффициенты корреляции между  $S_0$  и этими параметрами в большинстве субъектов колебались в основном от 0,46 до 0,75. При этом в отдельных южных областях региона (например, Саратовская область) коэффициент корреляции  $S_0$  с NDVI был несколько большим по значению (-0,79), чем с агрометеорологическими параметрами: с запасами продуктивной влаги он был равен -0,75, с осадками (в % нормы) -0,73. В то же время, в северных субъектах округа несколько более тесной была связь  $S_0$  с агрометеорологическими параметрами, чем с NDVI. Необходимо отметить, что связь  $S_0$  со средней температурой воздуха в большинстве субъектов округа оказалась менее тесной ( $r = \pm 0,36 \dots \pm 0,42$ ) или близкой к значимой, в субъектах северной половины округа она была достаточно тесной со средней температурой ( $r = -0,50$ ) и с суммой эффективных температур за период вегетации.

На рис. 34 в качестве примера приводятся зависимости площади в плохом состоянии озимых культур осенью ко времени прекращения вегетации ( $S_0, \%$ ) от количества осадков ( $P$ , мм) за третью декаду августа – первую-вторую декады сентября, запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы ( $W_{0-20}$ , мм) за тот же период по Республике Татарстан и Оренбургской области (а, б), температуры воздуха за третью декаду августа-вторую декады сентября по Саратовской и Нижегородской областям (в) и от NDVI на конец вегетации по Саратовской и Кировской областям (г).

На приведенных рисунках (а, б) хорошо видно, что с увеличением количества осадков и запасов влаги  $S_0$  в Республике Татарстан и Оренбургской области увеличивается, а на крайнем юге территории, в Саратовской области,  $S_0$  увеличивается с повышением температуры воздуха (в), тогда как в Нижегородской области она, напротив, уменьшается (г). Это можно объяснить тем, что на юге округа, где тепла для развития растений практически всегда достаточно, повышение температуры, чаще всего, сопряжено с дефицитом увлажнения, а в северных районах округа, где нередко наблюдается дефицит тепла, а увлажнение достаточное, в отдельные годы даже избыточное, повышение температуры в этих регионах способствует хорошему развитию растений (особенно при поздних сроках сева) и, следовательно, уменьшению площади с плохим состоянием озимых осенью.

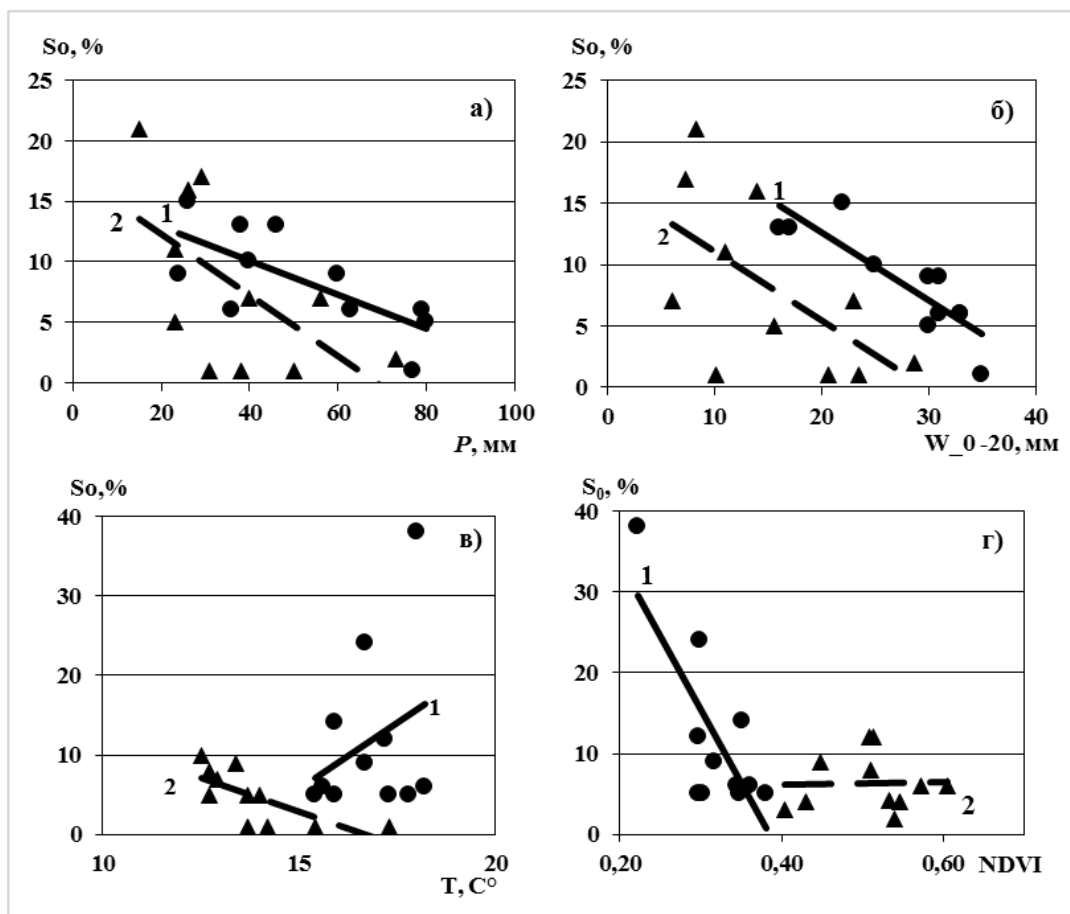


Рис. 34. – Зависимость величины  $S_0, \%$  от: а) количества осадков за третью декаду августа – первую-вторую декады сентября по Республике Татарстан (1) и Оренбургской области (2); б) запасов продуктивной влаги (мм) в пахотном слое почвы за тот же период по Республике Татарстан (1) и Оренбургской области (2); в) температуры воздуха за третью декаду августа–вторую декады сентября по Саратовской (1) и Нижегородской (2) областям; г) NDVI по Саратовской (1) и Кировской (2) областям.

Отметим также, что на севере округа (например, Кировская область) связь  $S_0$  с NDVI практически не выражена, что, вероятно, можно объяснить более сложным ландшафтом, небольшими размерами полей с озимыми культурами в этих районах по сравнению с обширными лесными массивами и лугами, тогда как в южных районах округа (например, в Саратовской, Самарской областях) связь оказалась достаточно тесной.

Полученные результаты исследований тесноты связей  $S_0$  с агрометеорологическими параметрами и NDVI позволили нам впервые в

агрометеорологии разработать методику расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации (площади с плохим состоянием) на основе учёта отобранных и наиболее значимых наземных агрометеорологических параметров в комплексе со спутниковыми данными (NDVI) на конец вегетации по субъектам Приволжского федерального округа.

Линейные регрессионные модели рассчитывались с учётом неодинакового характера и тесноты связей  $S_0$  с указанными параметрами, что объясняется различными погодно–климатическими условиями на территории округа.

В связи с этим все субъекты ПФО были разделены на несколько групп.

Для территории, относящейся к первой группе, в которую вошли Нижегородская, Кировская области, Пермский край, Республики Мордовия, Марий Эл, Чувашия и Удмуртия, где условия увлажнения в большинстве лет бывают достаточными, а тепла в отдельные годы бывает мало, для разработки методики расчёта  $S_0$  использовали данные: сумма эффективной температуры (выше 5 °С) за сентябрь ( $a_1$ ) и NDVI за вторую декаду сентября ( $a_2$ ).<sup>1</sup> Полученная регрессионная модель имеет вид:

$$S_0 = -0,02_{a_1} + 10,62_{a_2} + 2,99, \quad R = 0,78 \pm 0,04 \quad N = 91 \quad (12)$$

Проверка модели на зависимых материалах (2003 и 2015 гг.) показала хорошую и удовлетворительную оправдываемость (74–84 %).

Для территории, относящейся ко второй группе, в которую вошли Пензенская и Ульяновская области, где агрометеорологические условия осенью (тепло- и влагообеспеченность) в большинстве лет бывают вполне удовлетворительными, в полученной модели для расчёта  $S_0$  нами использовались сумма осадков (в мм) за сентябрь ( $a_1$ ) и NDVI за третью декаду сентября ( $a_2$ ).

$$S_0 = -0,01_{a_1} - 27,32_{a_2} + 18,23, \quad R = 0,75 \pm 0,08 \quad N = 26 \quad (13)$$

Проверка модели на зависимых материалах (2003–2015 гг.) показала хорошую оправдываемость – 82–90 %.

---

<sup>1</sup> Здесь и далее величина NDVI рассматривается нами как характеристика биомассы посевов в условиях, когда значения этого индекса пропорциональны биомассе (в пределах 0,45–0,65).

Для территории, относящейся к *третьей группе*, в которую вошли Саратовская, Самарская и Оренбургская области, где часто наблюдаются засушливые условия осенью, в регрессионной модели использованы: сумма осадков в процентах нормы за сентябрь–вторая декада октября ( $a_1$ ), и NDVI за первую декаду октября ( $a_2$ ).

$$S_0 = -0,05a_1 - 71,10a_2 + 54,55, \quad R = 0,85 \pm 0,04 \quad N = 39 \quad (14)$$

Результаты кросс-валидации модели для расчётов  $S_0$  в Самарской, и Оренбургской областях на зависимом материале (2003–2015 гг.) приведены в качестве примера на рис. 35.

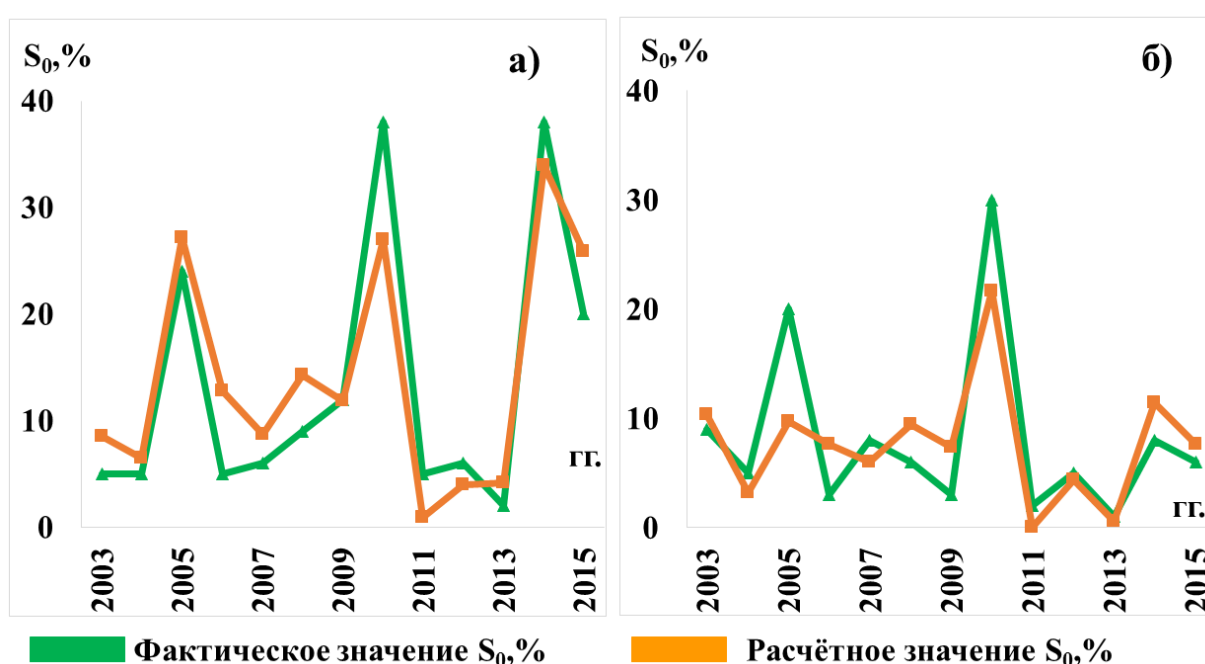


Рис. 35. – Фактические и расчётные значения площади с плохим состоянием озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации осенью (%) в Самарской (а) и Саратовской (б) областях.

Коэффициент корреляции между фактическими и расчётными значениями площади с плохим состоянием озимых ко времени прекращения вегетации осенью ( $S_0$ , %) равен 0,92 и 0,84, соответственно.

Для Республик Татарстан и Башкортостан разработаны две модели для расчёта  $S_0$ . В первую модель в качестве предикторов входят запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы за третью декаду августа – вторую декаду сентября ( $a_1$ ) и

NDVI за третью декаду сентября ( $a_3$ ), т.е. параметры, связь которых с  $S_0$  оказалась наиболее тесной.

$$S_0 = -0,32a_1 - 17,46a_3 + 24,06, \quad R = 0,80 \pm 0,07 \quad N = 26 \quad (15)$$

Во вторую модель для расчёта  $S_0$  вошли осадки в процентах нормы за третью декаду августа – вторую декаду сентября ( $a_2$ ) и NDVI за третью декаду сентября ( $a_3$ ).

$$S_0 = -0,03a_2 - 38,25a_3 + 26,71, \quad R = 0,72 \pm 0,10 \quad N = 26 \quad (16)$$

Авторская проверка расчёта количественной оценки  $S_0$  (на зависимых данных) по двум моделям показала, что оправдываемость расчетов  $S_0$  по наземным и спутниковым данным составляет от 80 до 94 %.

Расчёты  $S_0$  по разработанным регрессионным моделям для проверки также проводились на независимых материалах (2016 и 2017 гг.), которые не входили в объем выборки, использованный для построения моделей. Рассчитанные значения площади с плохим состоянием озимых культур ко времени прекращения вегетации по моделям (12–16) в исследуемых субъектах сопоставлялись с фактическими данными. Средняя абсолютная ошибка расчётов составила 1–3 %.

#### **4.3.2. Центральный федеральный округ**

В Центральном федеральном округе озимые пшеница и рожь – ведущие культуры региона. Основные площади озимых в округе (около 3,0 млн. га) заняты озимой пшеницей. В зерновом балансе округа доля озимых культур составляет до 45–50 % от общего валового сбора зерновых культур в округе и до 10–15 % от валового сбора всех зерновых культур в целом по стране.

Для разработки методики расчёта количественной оценки состояния озимых осенью (площади с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации) по субъектам этого округа использовались данные наблюдений сети гидрометстанций Росгидромета о количестве осадков, показателях засушливости, температуре воздуха, запасах продуктивной влаги в почве и показателе растительной массы озимых культур в период от появления всходов до прекращения осенней вегетации по декадам и месяцам этого периода, а также условия увлажнения в период начала массового сева озимых в августе. Матрицы связей этих показателей и NDVI с  $S_0$



рассчитывались за период 2003–2015 гг. Все используемые агрометеорологические данные и NDVI по декадам и месяцам осреднялись по субъектам округа.

Использовались также данные маршрутных обследований озимых культур, проводимые ГМС и оперативными подразделениями Росгидромета в субъектах округа, включающие степень развития растений, высоту, густоту, засоренность и в целом оценку состояния посевов в градациях «хорошее», «удовлетворительное» и «плохое» в процентах от общей посевной площади в субъекте. В исследованиях по разработке методики расчёта количественной оценки площади озимых культур с плохим состоянием осенью ( $S_0$ ) по наземным и спутниковым данным в субъектах округа изучалась сопряженность основных агрометеорологических показателей (по наземным данным), характеризующих состояние озимых осенью ко времени прекращения вегетации (запасов продуктивной влаги в почве и показателя растительной массы растений) со значениями NDVI.

Динамика этих показателей представлена на рис. 36 по чернозёмным областям (Воронежская область, 2012 г., когда наблюдалось достаточное увлажнение и Белгородская область 2009 г. – недостаточное увлажнение) и по нечернозёмным областям Орловская область 2003 г. и Московская область 2005 г.).

На основании анализа данных, представленных на рис. 36 можно констатировать, что достаточно четкое согласование временного хода запасов влаги в пахотном слое почвы ( $W_{0-20}$ ) и NDVI наблюдается в чернозёмных областях (рис. 36 а, б), где влага является лимитирующим фактором, тогда как в нечернозёмных областях (рис. 37 в, г) такого чёткого согласования не выявлено. Понятно, что хорошее согласование NDVI в южных областях округа отмечается и с показателем растительной массы озимых ( $k \cdot h$ ), причём в период, когда на большинстве площадей они достигают фазы кущения, коэффициенты корреляции между ними колеблются от 0,50 до 0,70, а с запасами влаги от 0,55 до 0,79.

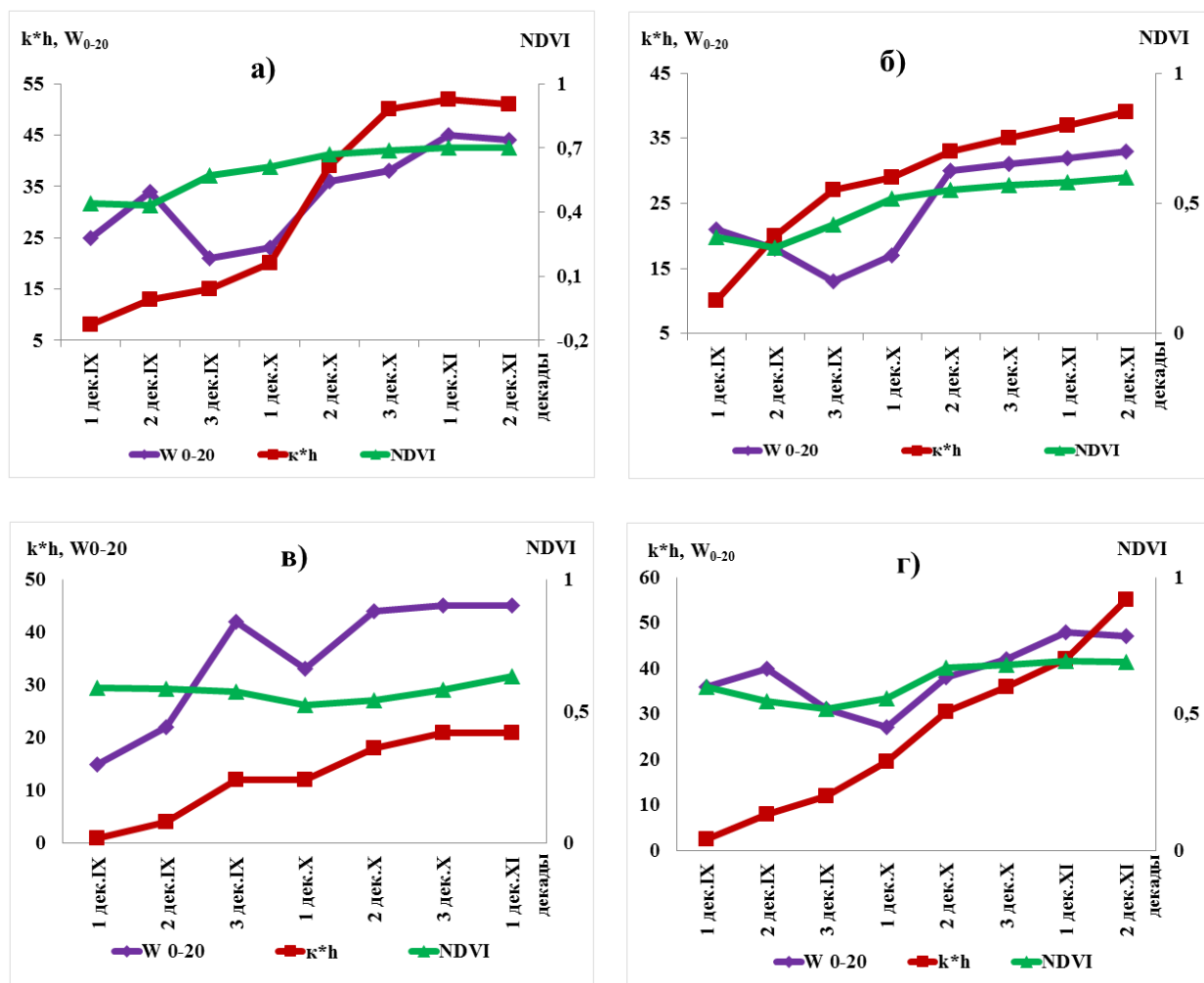


Рис. 36. – Динамика запасов продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см ( $W_{0-20}$ ), показателя растительной массы озимых культур ( $k \cdot h$ ) и вегетационного индекса NDVI по Воронежской за 2012 г. (а) и Белгородской областям за 2009 г (б) и Орловской за 2003 г. (в), Московской областям за 2005 г. (г).

При проведении исследований по территории субъектов ЦФО, как и для субъектов в ПФО нами также была рассчитана средняя многолетняя динамика (временной ход) NDVI для озимых культур по декадам вегетации осенью за 2003–2015 гг., которая сравнивалась с динамикой NDVI отдельных лет. Выявлено, что достаточно корректно в южной половине округа можно рассчитать отклонение NDVI в текущем году от «нормы» и, следовательно, зная средние многолетние значения  $S_0$  в субъекте за тот же период, можно ориентировочно (учитывая хорошую корреляцию NDVI с  $S_0$ ) судить о величине площади в плохом (или хорошем) состоянии (в % от средней  $S_0$  для того или иного субъекта) в субъектах этой территории, где, как указывалось выше, появление всходов, рост растений и

накопление растительной массы озимых часто лимитируется дефицитом влаги. Как и в ПФО, особенно наглядно это наблюдается в годы, контрастные по условиям увлажнения осенью.

На рис. 37 показана динамика NDVI по Воронежской «а» и Белгородской «б» областям в достаточно благоприятную по условиям увлажнения осень 2012 года и в засушливую осень 2009 года по сравнению со средним многолетним значением динамики NDVI, рассчитанным нами за период 2003–2015 гг. (по данным сервиса ВЕГА). Следует отметить, что достаточно четко видно различие отклонений значений NDVI во влажную (2012 г.) и засушливую осень (2009 г) от средних многолетних значений этого показателя. Это даёт возможность приблизительно судить и об отклонении  $S_0$  в текущем году от средней  $S_0$  (в конкретном субъекте), рассчитанной за тот же период, что и среднее значение NDVI.

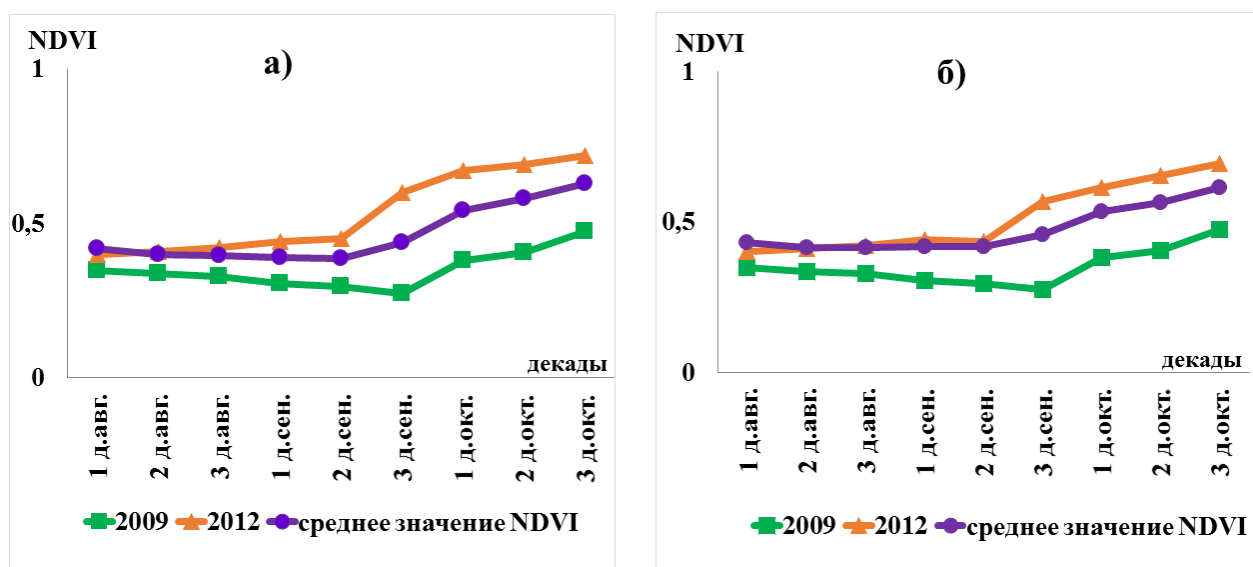


Рис. 37. – Динамика NDVI по Воронежской (а) и Белгородской (б) областям.

На рис. 38 (а, б) в качестве примера показана оценка состояния озимых зерновых культур осенью по значениям NDVI (по данным веб-сервиса ВЕГА, ИКИ РАН), где в различные по условиям увлажнения годы хорошо видно различное состояние озимых культур. Так, осенью 2012 г., когда увлажнение было достаточным (преобладает зелёный цвет, что по шкале оценок состояния посевов соответствует хорошему состоянию) и в засушливую осень 2014 г. (районы с

плохим состоянием посевов – розовый цвет). Это различие подтверждается и проанализированными нами наземными данными (по маршрутным обследованиям).

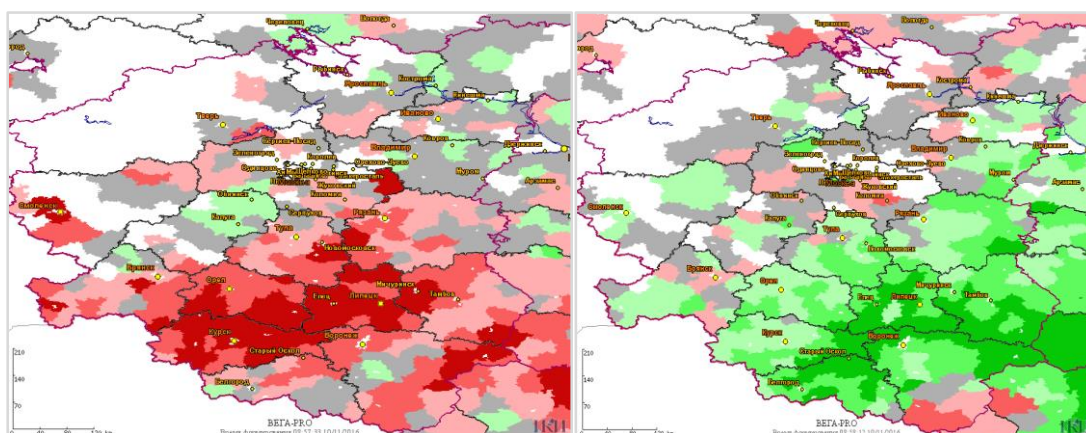


Рис. 38. – Состояние озимых культур по спутниковым данным на конец вегетации озимых осенью 2014 года (а) и 2012 г (б) в Центральном федеральном округе.

В то же время нельзя не отметить, что в большинстве субъектов нечерноземной зоны, т.е. в северной половине округа, где наблюдается в основном достаточное увлажнение (а на севере округа в отдельные годы – избыточное, затрудняющее сев озимых в оптимальные сроки), использование указанного выше подхода (расчет средних значений NDVI и отклонений от них) оказалось затруднительным из-за «сглаженного» временного хода средних многолетних значений NDVI (т.е. «нормы») и временного хода по годам (текущая динамика).

Об этом свидетельствуют данные рис. 39, где показана динамика среднемноголетних значений NDVI и его динамика за отдельные годы по нечерноземным областям (Ивановская, Орловская области). Можно видеть, что значения NDVI в разные периоды временного хода этого показателя мало отличаются от среднего многолетнего временного хода, или «нормы». Здесь укажем, что хуже, чем в чернозёмных областях, согласуется и временной ход агрометеорологических показателей в нечерноземных областях – запасов продуктивной влаги и растительной массы озимых с NDVI, что было показано нами выше.

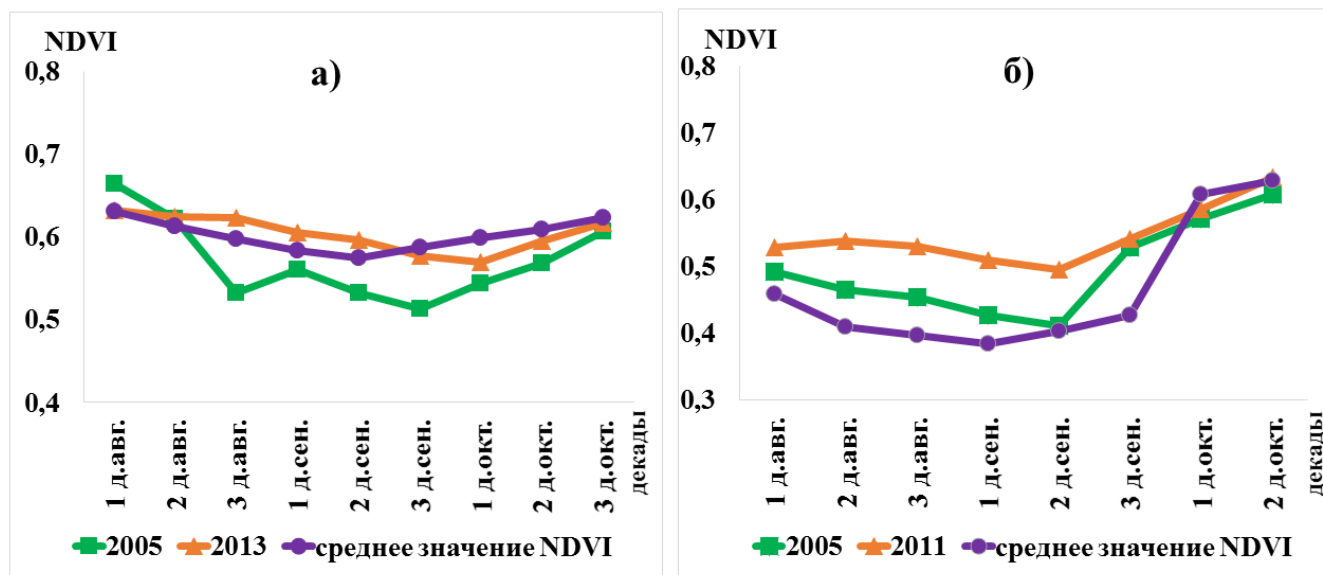


Рис. 39. – Динамика NDVI по Ивановской (а) и Орловской (б) областям.

Учитывая разнообразие агроклиматических ресурсов на территории округа при разработке методики расчётов площади с плохим состоянием озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации было выделено четыре группы субъектов по уровню тепло- и влагообеспеченности в осенний период.

Наиболее тесными на преобладающей территории округа оказались связи  $S_0$  со средними за сентябрь (три декады сентября) запасами продуктивной влаги в пахотном слое почвы, мм ( $W_{0-20_{IX, мм}}$ ), суммой осадков за август–сентябрь в % нормы ( $\sum P_{VIII-IX, \%N}$ ), показателем растительной массы растений ( $k \cdot h$ ) и NDVI, а на севере округа и с суммой эффективной температуры воздуха за сентябрь ( $\sum T_{IX}^{эф}$ ). По отдельным субъектам выявилась хорошая связь  $S_0$  с индексом засушливости Д.А. Педя.

Следует отметить, что более тесные связи  $S_0$  с агрометеорологическими параметрами наблюдались в субъектах южной половины округа.

Так, в первой группе субъектов (Белгородская, Воронежская области) теснота связей  $S_0$  с  $W_{0-20_{IX, мм}}$  характеризовалась коэффициентами корреляции от -0,64 до -0,72, во второй группе (Липецкая, Тамбовская, Курская области) значение  $r$  колебалось от -0,45 до -0,57, в третьей группе (Брянская, Орловская, Калужская, Тульская, Рязанская, Смоленская области) – от -0,42 до -0,52, в четвертой группе (Московская, Владимирская, Ивановская, Тверская, Ярославская, Костромская

области) эта связь оказалась в основном ниже уровня значимой. Связь  $S_0$  с количеством осадков за август–сентябрь в первой группе характеризовалась коэффициентом корреляции, равным от -0,48 до -0,70, во второй группе – от -0,45 до -0,65, в третьей группе – от -0,42 до -0,50, в четвертой группе эта связь, также, как и с запасами влаги, была ниже уровня значимой. Тесная связь  $S_0$  в Воронежской и Белгородской областях наблюдалась с индексом засушливости Д.А. Педя ( $r = 0,49 \dots 0,68$ ). Связь  $S_0$  с  $k \cdot h$  в первой группе характеризовалась значением ( $r$ ), равным -0,49...-0,60, во второй от -0,44 до -0,52, в третьей от -0,50 до -0,60. Теснота связи  $S_0$  со значениями NDVI в первой группе характеризовалась ( $r$ ), равным от -0,63 до -0,78, во второй – от 0,53 до -0,60, в третьей от 0,40 до 0,56, в четвёртой группе она была незначимой. Связь  $S_0$  с суммой эффективных температур воздуха за сентябрь в первой и второй группах областей оказалась не значимой, а в третьей группе значения коэффициента корреляции ( $r$ ) колебались от -0,42 до -0,51, в четвертой от -0,48 до -0,60.

На рис. 40 в качестве примера приводятся зависимости площади с плохим состоянием озимых культур ко времени прекращения вегетации ( $S_0$ ) от запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы за сентябрь ( $W_{0-20_{IX,MM}}$ ), NDVI за третью декаду сентября-первую декаду октября, индекса засушливости Д.А.Педя ( $Si_{IX}$ ) за сентябрь по Белгородской и Воронежской областям (рисунок 46 а, б, в), суммы осадков за август–сентябрь в процентах нормы ( $\sum P_{VIII-IX, \%N}$ ) и показателя растительной массы озимых, рассчитанного на конец вегетации ( $k \cdot h$ ) по Липецкой и Тамбовской областям (г, д) и от суммы эффективной температуры воздуха за сентябрь ( $\sum T_{IX}^{эф}$ ) по Московской и Костромской областям (е).

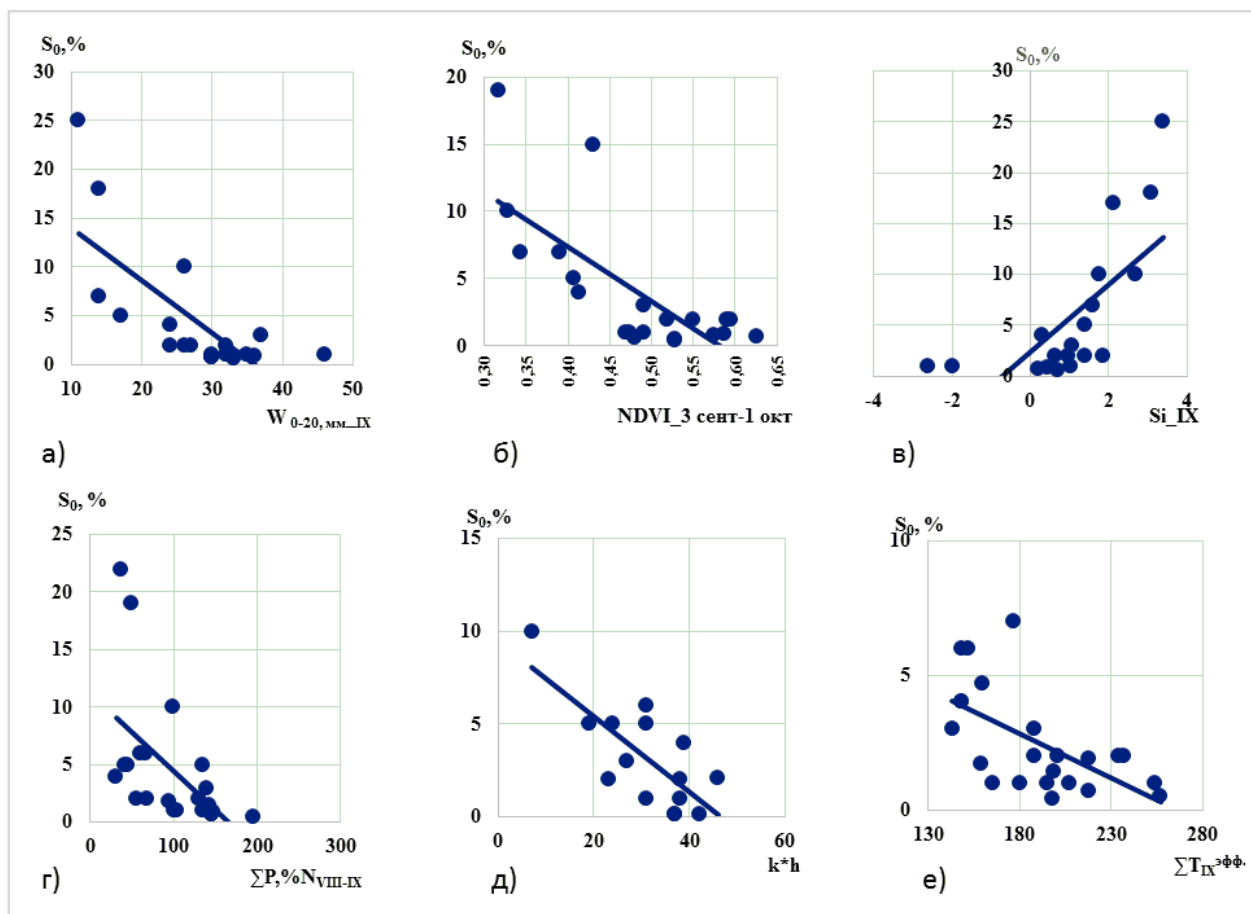


Рис. 40. – Зависимость величины  $S_0, \%$  от: а) запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы за сентябрь по Белгородской и Воронежской областям; б) NDVI за третью декаду сентября-первую декаду октября по Белгородской и Воронежской областям; в) индекса засушливости Д.А. Педя за сентябрь по Белгородской и Воронежской областям; г) суммы осадков за август–сентябрь в % нормы по Липецкой и Тамбовской областям; д) показателя растительной массы озимых, в конце вегетации по Липецкой и Тамбовской областям; е) сумм эффективной температуры воздуха за сентябрь по Московской, Костромской областям.

Полученные результаты исследований позволили разработать методику расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур осенью ко времени прекращения вегетации (площади с плохим состоянием) на основе эмпирических регрессионных моделей, с использованием данных наземных и спутниковых измерений по субъектам ЦФО.

Регрессионные многофакторные модели для субъектов округа строились с учётом различной тесноты связей  $S_0$  с агрометеорологическими параметрами и NDVI, что объясняется большим разнообразием погодно–климатических условий, в связи с чем все субъекты округа, как указывалось выше, были разделены на четыре группы.

Для территории, относящейся к *первой группе*, в которую входят Белгородская, Воронежская области, в разработанные модели включены данные, связь которых с  $S_0$  оказалась наиболее тесной. В первую модель вошли количество осадков в процентах нормы за август–сентябрь ( $a_1$ ) и NDVI за первую декаду октября ( $a_3$ ); во вторую модель включены запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы за сентябрь ( $a_2$ ) и NDVI за первую декаду октября ( $a_3$ ).

Полученные уравнения имеют вид:

$$S_0 = -0,05_{a_1} - 50,22_{a_3} + 38,55, \quad R = 0,80 \pm 0,07 \quad N = 26 \quad (17)$$

$$S_0 = -0,51_{a_2} - 22,59_{a_3} + 31,74, \quad R = 0,76 \pm 0,09 \quad N = 26 \quad (18)$$

Авторская проверка моделей на зависимых данных (2003–2015 гг.) показала хорошую оправдываемость (85–95 %).

Для разработки модели расчёта  $S_0$  по субъектам *второй группы*, в которую вошли Липецкая, Тамбовская, Курская области, использованы запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы за третью декаду августа – 2 декаду сентября ( $a_1$ ) и NDVI за третью декаду сентября ( $a_2$ ), связь с которыми была наиболее тесной.

$$S_0 = -0,21_{a_1} - 20,49_{a_2} + 19,95, \quad R = 0,79 \pm 0,06 \quad N = 39 \quad (19)$$

При проверке модели на зависимых данных (2003–2015 гг.) оправдываемость расчётов составила 80–87 %.

Для территории, относящейся к *третьей группе*, к которой отнесены Брянская, Орловская, Калужская, Тульская, Рязанская области, в разработанной модели использованы запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы за третью декаду августа–сентябрь ( $a_1$ ) и NDVI за первую декаду октября ( $a_2$ ).

$$S_0 = -0,16_{a_1} - 22,81_{a_3} + 18,99, \quad R = 0,74 \pm 0,06 \quad N = 60 \quad (20)$$

Для примера на рис. 41 представлены результаты кросс–валидации модели на зависимом материале (2003–2015 гг.) для расчёта  $S_0$  в Орловской и Калужской областях. Коэффициент корреляции между фактическими и расчётными значениями



площади с плохим состоянием озимых ко времени прекращения вегетации осенью ( $S_0$ , %) равен 0,77 и 0,63, соответственно.

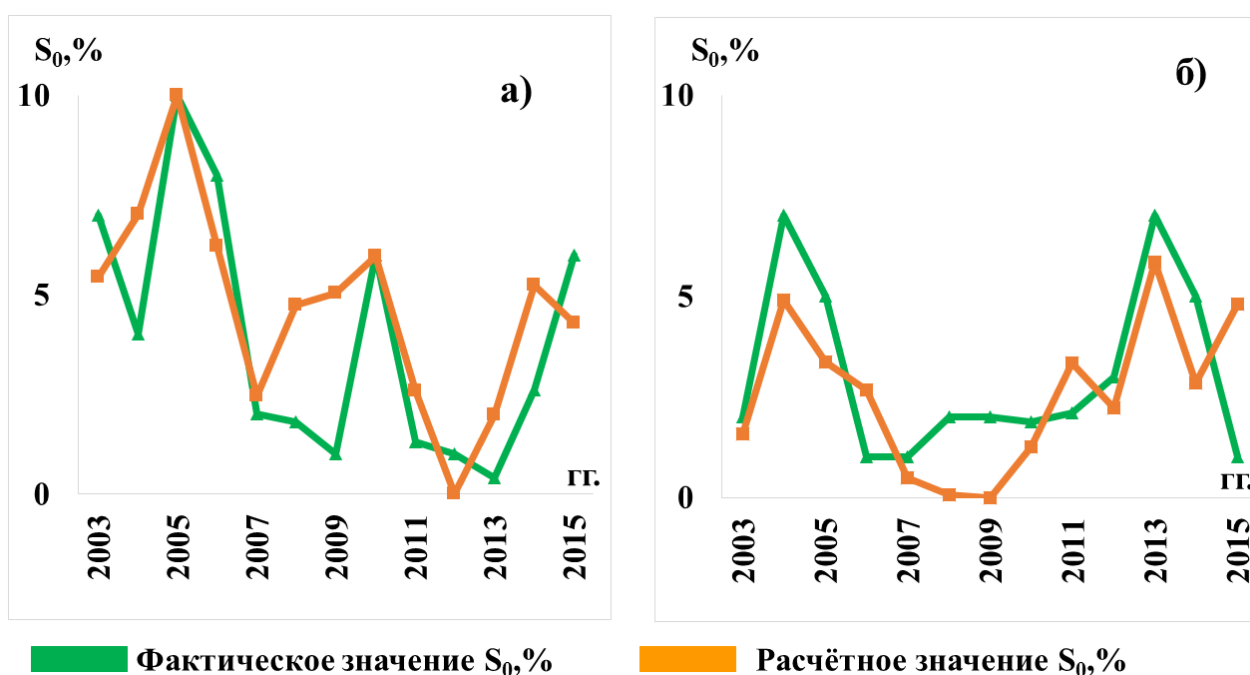


Рис. 41. – Фактические и расчётные значения площади с плохим состоянием озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации осенью (%) в Орловской (а) и Калужской (б) областях.

Для территории, относящейся к четвертой группе (Московская, Владимирская, Ивановская, Костромская области) в модели использованы данные: сумма эффективной температуры за сентябрь ( $a_1$ ) и NDVI за первую декаду октября ( $a_2$ ).

$$S_0 = -0,03a_1 - 17,42a_2 + 19,37, \quad R = 0,86 \pm 0,03 \quad N = 52 \quad (21)$$

Проверка расчётов по этой модели на зависимых данных (2003–2015 гг.) показала хорошую и удовлетворительную оправдываемость – от 75 до 85 %.

Наши исследования показали достаточно высокую надёжность разработанной методики расчёта  $S_0$  с использованием приёма интеграции наземных данных и спутниковой информации во всех группах ЦФО, о чем свидетельствуют результаты проверки методики за период 2003—2015 гг. и высокие коэффициенты детерминации ( $R^2$  колеблется от 0,58 до 0,80) в полученных моделях. Следует отметить, что несмотря на то, что северные районы округа характеризуются более сложным ландшафтом, здесь велика доля лесных массивов, лугов, а посевная

площадь озимых культур небольшая, в этих областях применение методики совместного использования наземных и спутниковых данных в расчётах  $S_0$  оказалось всё же несколько более эффективным, чем с использованием лишь наземных данных.

Полученные физико–статистические регрессионные модели по субъектам ЦФО проверялись также на независимом материале по данным 2016 и 2017 гг., которые не вошли в объём выборки, использованный для построения моделей. Проверка разработанных моделей (17–21) на независимых данных показала, что абсолютная ошибка расчетов  $S_0$  по наземным и спутниковым данным по субъектам округа была небольшой и составила в среднем 2–4 %.

#### **4.3.3. Южный и Северо–Кавказский федеральные округа**

В Южном и Северо–Кавказском федеральных округах озимые зерновые культуры занимают около 50 % от общей посевной площади в России, и оценка их состояния осенью имеет очень важное значение.

Для разработки методики расчёта количественной оценки площади озимых зерновых культур в плохом состоянии осенью ко времени прекращения вегетации на основе созданного архива агрометеорологических наблюдений ГМС и спутниковых измерений (за период 2003–2015 гг.) для субъектов этих округов нами также рассчитывались матрицы связей площади озимых в плохом состоянии ( $S_0$ , %) по Ростовской, Волгоградской областям, Краснодарскому, Ставропольскому краям, где сосредоточены основные посевные площади озимых культур, с осредненными по территории субъектов показателями условий влагообеспеченности растений в период сева и осенней вегетации, количеством осадков (в мм и процентах нормы), показателем увлажнения ГТК, запасами продуктивной влаги в почве (мм), показателем растительной массы озимых ( $k \cdot h$ ) и значениями вегетационного индекса (NDVI). Всего рассматривалось 10 параметров.

При анализе матриц оказалось, что наиболее значимой была теснота связей  $S_0$  в указанных выше субъектах с запасами продуктивной влаги в пахотном слое почвы за сентябрь ( $W_{0-20_{IX, мм}}$ ), суммой осадков в процентах нормы за период сентябрь–октябрь  $\sum P_{IX-X}$ , показателем растительной массы озимых ( $k \cdot h$ ) и значениями NDVI

за третью декаду октября ( $NDVI_{3д.X}$ ) и первую декаду ноября ( $NDVI_{1д.XI}$ ). Значения коэффициентов корреляции с указанными параметрами колебались в основном от -0,55 до -0,76.

На основе отобранных факторов нами рассчитывались регрессионные модели для расчёта  $S_0$  для северных районов Южного федерального округа (Ростовская и Волгоградская области), т.е. для субъектов, где условия увлажнения, как указывалось в Главе 2, осенью часто бывают недостаточными, а также для более южных регионов (Краснодарский и Ставропольский края), где такие условия наблюдаются значительно реже.

Для расчётов количественной оценки  $S_0$  по Ростовской и Волгоградской областям в модели использованы запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы за октябрь в мм ( $a_1$ ) и NDVI за третью декаду октября ( $a_2$ ).

$$S_0 = -0,44_{a_1} - 44,80_{a_2} + 42,29, \quad R = 0,86 \pm 0,05 \quad N = 26 \quad (22)$$

В регрессионной модели для расчётов  $S_0$  по Краснодарскому и Ставропольскому краям, где сев озимых производится позже, чем в северных районах, использованы средние запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы за октябрь в мм ( $a_1$ ) и NDVI за первую декаду ноября ( $a_2$ ).

$$S_0 = -0,29_{a_1} - 19,19_{a_2} + 21,86, \quad R = 0,73 \pm 1,00 \quad N = 26 \quad (23)$$

На рис. 42 для примера представлены результаты кросс-валидации модели на зависимом материале (2003–2015 гг.) по Волгоградской области. Коэффициент корреляции между фактическими и расчётными значениями площади с плохим состоянием озимых ко времени прекращения вегетации осенью ( $S_0$ , %) равен 0,78.

Проверка моделей (22–23) на зависимых материалах (2003–2015 гг.) показала, что оправдываемость расчётов  $S_0$  составляет в основном от 82 до 90 %. При проверке на независимых данных (2016 и 2017 гг.) по территории субъектов Южного федерального округа абсолютная ошибка расчётов  $S_0$  составила в среднем 2–4 %, по Северо–Кавказскому федеральному округу 3–4 %.

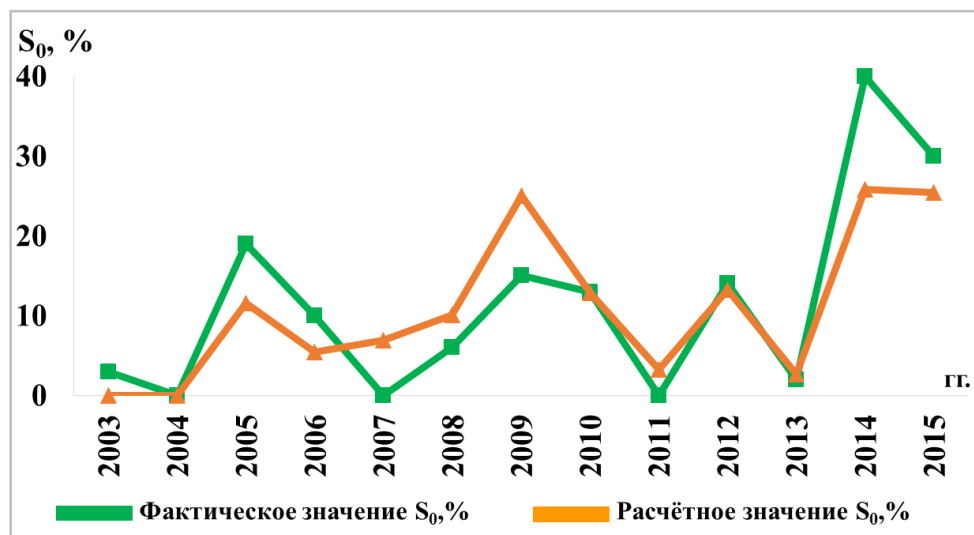


Рис. 42. – Фактические и расчётные значения площади с плохим состоянием озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации осенью (%) в Волгоградской области.

#### 4.3.4. Уральский и Сибирский федеральные округа

Озимые зерновые культуры в Уральском и Сибирском федеральных округах возделываются на небольших площадях. Основной причиной этого являются неблагоприятные условия зимовки (низкая температура воздуха при недостаточном снежном покрове). Однако в отдельные годы состояние этих культур ухудшается уже осенью из-за дефицита осадков и влаги в почве в период сева и осенней вегетации растений, что было показано нами в Главе 2.

Для разработки методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур в осенний период (площади с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации –  $S_0, \%$ ) для субъектов этих округов нами был сформирован архив агрометеорологических данных по тепло- и влагообеспеченности озимых за август – сентябрь по наземным наблюдениям ГМС (средняя температура воздуха, сумма эффективной температуры, сумма осадков в мм и процентах от нормы, коэффициент увлажнения ГТК, запасы продуктивной влаги в почве в мм), а также по спутниковым данным (NDVI) за сентябрь. Для определения тесноты связей  $S_0$  с агрометеорологическими факторами и с NDVI, как и для субъектов федеральных округов на европейской части России, строились матрицы связей этих величин.

Проведенный корреляционный анализ связей  $S_0$  с указанными выше факторами показал, что теснота связей  $S_0$  с рассмотренными факторами в этих округах выражена слабее, чем в федеральных округах на европейской части России, что связано, по-видимому, с более мелкими масштабами полей и с особенностями рельефа территории. Коэффициенты корреляции связей  $S_0$  с агрометеорологическими факторами колебались от 0,42 до 0,60, а с NDVI от 0,40 до 0,56. Наиболее тесными оказались связи  $S_0$  с количеством осадков за август (в % нормы) и с осредненными за третью декаду августа – вторую декаду сентября запасами продуктивной влаги в пахотном слое почвы (в мм), а также с NDVI за третью декаду сентября. При этом менее тесные связи были характерны для субъектов Уральского федерального округа, где посевные площади озимых существенно меньше, чем в Сибирском федеральном округе.

Используя указанные выше факторы были рассчитаны регрессионные модели для основных озимосеющих субъектов Сибирского федерального округа (для Западной Сибири, т.к. в Восточной Сибири озимые культуры не возделываются) и Уральского федеральных округов, позволяющие рассчитать размер площади с плохим состоянием озимых культур ( $S_0$ , %) после прекращения вегетации.

Для расчётов количественной оценки  $S_0$  в основных озимосеющих регионах Уральского федерального округа (Курганская, Челябинская области) использованы средние запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы за третью декаду августа – вторую декаду сентября ( $a_1$ ) и NDVI за третью декаду сентября ( $a_2$ ).

Полученная регрессионная модель имеет вид:

$$S_0 = -0,23a_1 - 38,77a_2 + 28,71, \quad R = 0,81 \pm 0,07 \quad N = 26 \quad (24)$$

В Сибирском федеральном округе (Омская, Новосибирская области, Алтайский край) для расчёта количественной оценки  $S_0$  в этих основных озимосеющих регионах использовались данные: количество осадков в процентах нормы за август ( $a_1$ ) и NDVI за третью декаду сентября ( $a_2$ ).

$$S_0 = -0,03a_1 - 33,74a_2 + 24,21, \quad R = 0,86 \pm 0,06 \quad N = 39 \quad (25)$$

На рис. 43 представлены результаты кросс-валидации модели на зависимом материале (2003–2015 гг.) по субъектам Уральского федерального округа и

Западной Сибири. Коэффициенты корреляции между фактическими и расчётными значениями площади с плохим состоянием озимых ко времени прекращения вегетации осенью ( $S_0$ , %) равен 0,77 и 0,82, соответственно.

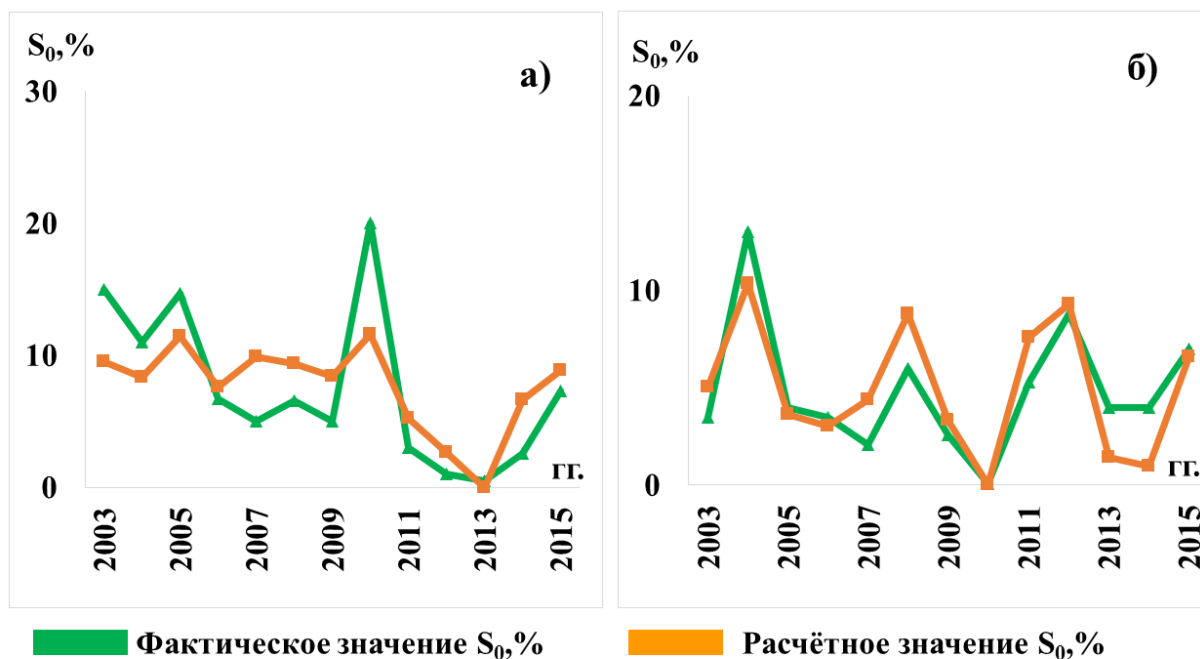


Рис. 43. – Фактические и расчётные значения площади с плохим состоянием озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации осенью (%) по Курганской области (а) и Алтайскому краю (б).

Проверка разработанных на основе наземной и спутниковой информации регрессионных моделей (24–25) на зависимых материалах (2003–2015 гг.) показала хорошую и удовлетворительную оправдываемость – от 73 до 87 %. При проверке на независимых данных (2016 и 2017 гг.) абсолютная ошибка расчётов по субъектам Уральского и Сибирского (Западная Сибирь) федеральных округов составила от 1 до 4 %.

Таким образом, для количественной оценки площади посевов озимых культур с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации осенью ( $S_0$ , %) с использованием наземных и спутниковых данных для субъектов Центрального, Приволжского, Южного, Северо–Кавказского, Уральского, Сибирского (Западная Сибирь) федеральных округов, был применен единый подход, основанный на использовании тесноты связей  $S_0$  с агрометеорологическими факторами и NDVI.

Впервые в агрометеорологии разработана методика, основанная на построении физико–статистических регрессионных моделей, позволяющих в конце вегетации рассчитывать площадь с плохим состоянием посевов озимых (в % от общей посевной площади в субъекте), что необходимо для учёта её в прогнозе перезимовки озимых культур. Как отмечалось ранее, использование получаемой в результате расчётов площади с плохим состоянием озимых культур, кроме того, имеет большое значение повышения оправдываемости этих прогнозов, а также для прогнозов валовых сборов этих культур.

Следует отметить, что при проверке разработанных регрессионных моделей для расчёта площади с плохим состоянием озимых культур ко времени прекращения вегетации ( $S_0$ ) на независимых материалах по данным за 2016 и 2017 годы, которые не вошли в объём выборки, рассчитанные значения  $S_0$  по субъектам федеральных округов сопоставлялись с фактическими данными (по данным маршрутных обследований гидрометстанций). Оценка оправдываемости расчётов  $S_0$  по предложенной новой методике производилась в соответствии с [Инструкция по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов, 1983].

Согласно указанной выше «Инструкции», при прогнозировании состояния озимых зерновых культур осенью и весной в годы с небольшой фактической площадью с погибшими (плохими) посевами (менее 10% посевной) оценка оправдываемости производится во величине абсолютной ошибки (в %). Как указывалось выше, абсолютная ошибка расчёта количественной оценки состояния озимых (площади с плохим состоянием) ко времени прекращения вегетации по субъектам федеральных округов составила: ПФО 1–3 %; ЦФО 2–4 %; ЮФО 2–4 %; С–К ф.о. 3–4 %; УФО и СФО (Западная Сибирь) 1–4 %.

Оценка значимости полученных уравнений и коэффициентов регрессии приведены в Таблице 18.

Таблица 18. Оценка значимости уравнений регрессии по субъектам Приволжского, Центрального, Южного, Северо–Кавказского, Уральского и Сибирского федеральных округов.

Порядковый номер уравнения	N ряда	Стандартизированные коэффициенты регрессии			Оценка значимости уравнения регрессии по F критерию (критерий Фишера)	Оценка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
		a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>		a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>
12	91	-0,67	0,23		76,45	9,80	3,40	
13	26	-0,27	0,63		15,74	1,90	4,42	
14	39	-0,33	-0,64		48,77	3,47	6,79	
15	26	-0,50		-0,32	20,38	2,51		1,64
16	26	-0,29		-0,52	12,20	1,93		3,32
17	26	-0,39		-0,46	19,15	2,60		3,09
18	26	-0,66		-0,19	14,09	4,11		1,19
19	39	-0,51	-0,43		29,43	4,44	3,83	
20	60	-0,35	-0,45		30,08	3,93	3,07	
21	52	-0,51	-0,45		98,66	5,10	4,48	
22	26	-0,39	-0,58		32,33	2,78	4,02	
23	26	-0,47	-0,40		12,37	2,92	2,51	
24	26	-0,34	-0,53		18,77	1,82	2,88	
25	39	-0,27	-0,70		26,38	2,00	5,29	

Полученные физико–статистические регрессионные модели для расчёта  $S_0$  по критерию Фишера, а коэффициенты регрессии по критерию Стьюдента значимы на 5 % уровне.

Учитывая статистический характер разработанных адаптивных моделей, представляется целесообразным обновлять их, удлиняя длину ряда, для учёта меняющихся от года к году условий осенней вегетации.



## Заключение

На основе проведенных исследований и полученных результатов можно сформулировать следующие основные выводы:

- Определены изменения агроклиматических условий осенней и весенне-летней вегетации, а также зимовки озимых зерновых культур в условиях глобального изменения климата. Проведён анализ изменений условий тепло- и влагообеспеченности за период с 1980 по 2015 гг. и установлены тенденции этих изменений.

- Выявлено, что в большинстве озимосеющих районов России за последние 17 лет (в период 1999–2015 гг. по сравнению с 1982–1998 гг.) наблюдается увеличение повторяемости сильных засух в период сева и начала осенней вегетации озимых культур, что в ряде этих районов негативно сказывается на их состоянии ко времени прекращения вегетации. Показано улучшение условий зимовки посевов за счёт потепления зим на преобладающей территории озимосеющих регионов России, кроме северо-восточных районов Европейской части, где посевы чаще повреждаются вследствие выпревания.

- Проведен анализ рисков сильных и средних засух и динамики их изменений в мае–июне. За период 2001–2015 гг. выявлена тенденция увеличения этих рисков по сравнению с периодом 1986–2000 гг. на юго–востоке Приволжского, на большей части территории Южного и Северо–Кавказского федеральных округов.

- В изменившихся агроклиматических условиях рассчитаны средние многолетние оптимальные сроки сева озимых зерновых культур, обеспечивающие образование к концу вегетации 3–4 побега кустистости.

- На основе проведённых исследований продолжительности и агрометеорологических условий осенней вегетации разработан новый метод расчёта оптимальных сроков сева озимых культур в изменившихся климатических условиях с учётом установленного сдвига дат перехода температуры воздуха через 15 и 5 °С в сторону более поздних, а также агрометеорологических условий в аномальные годы для субъектов Центрального, Южного, Северо–Кавказского и Приволжского федеральных округов.

- Исследована пространственная и временная изменчивость площади озимых культур с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации по территории субъектов и федеральных округов России за период с 1986 по 2015 гг., показана важность и необходимость учёта площади с плохим состоянием озимых культур осенью в прогнозах ожидаемого состояния озимых культур весной после перезимовки для повышения оправдываемости этих прогнозов, а также при прогнозировании валовых сборов зерна.

- Установлены закономерности влияния на озимые культуры в период осенней вегетации (размеры площади с плохим состоянием) агрометеорологических факторов (температура воздуха, осадки, запасы продуктивной влаги в почве) и связей с оптическим параметром (NDVI). Показана целесообразность комплексирования наземных данных наблюдений и спутниковой информации для оперативного мониторинга состояния озимых культур осенью, а также преимущество этого метода в связи с ограниченным количеством данных наземных наблюдений и возможностью применения новых технологий ДЗЗ.

- При условии интеграции спутниковых данных и имеющегося в Росгидромете методического и информационного обеспечения, основанного на данных наземных гидрометеорологических наблюдений, создана новая возможность оперативной количественной оценки состояния озимых культур осенью, что позволяет вывести на принципиально новый технологический уровень решение задач объективного дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур на больших площадях.

- Разработана новая методика расчёта количественной оценки состояния озимых культур осенью с использованием наземной информации и спутниковых данных (NDVI). Основой методики являются физико–статистические регрессионные модели, разработанные с учётом установленной различной тесноты связей площади с плохим состоянием озимых ко времени прекращения вегетации в разных по природно–климатическим условиям регионах с агрометеорологическими параметрами и NDVI.

- Внедрение новой методики расчёта количественной оценки состояния озимых зерновых культур даёт возможность в оперативном режиме представлять в органы власти и управления АПК и других заинтересованных сельскохозяйственных организаций наиболее достоверную информацию о состоянии их ко времени прекращения осенней вегетации и размеры площади с плохим состоянием посевов по каждому субъекту и федеральным округам России.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алёхина Н.Д., Балнокин Ю.В., Гавриленко В.Ф. и др. Физиология растений (под ред. И. П. Ермакова). М.: Издательский центр «Академия», 2005, 640 с.
2. Алпатов А.М., Иванова В.М. Характеристика и географическое распространение засух. В кн. «Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай». Л.: Гидрометеоиздат, 1958, с. 31–45.
3. Антропова В.Ф., Луке А.П. Рожь. В кн.: «Зерновые культуры». М.–Л., 1954, 388 с.
4. Антропова В.Ф. Рожь как исходный материал для кормового использования // Труды по прикладной ботанике, генетики и селекции, 1960, т. 33, вып. 3, с. 53–86.
5. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Савин И.Ю. Дистанционная оценка параметров сельскохозяйственных земель по спутниковым данным спектрорадиометра Modis // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд-во ИКИ РАН, 2005, том 2, № 2, с. 228–236.
6. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Савин И.Ю. Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных регионах России по спутниковым данным MODIS // Исследование Земли из космоса, 2006, № 3, с. 68–75.
7. Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Распознавание пахотных земель на основе многолетних спутниковых данных спектрорадиометра MODIS и локально-адаптивной классификации // Компьютерная оптика // Самара, ИСОИ РАН, 2011, т. 35, № 1, с. 103–116.
8. Барталев С.А., Ершов Д.В., Лупян Е.А., Толпин В.А. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд-во ИКИ РАН, 2012, т. 9, № 2, с. 49–56.
9. С.А. Барталёв, В.А. Егоров, В.О. Жарко, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотников, С.А. Хвостиков, Н.В. Шабанов Спутниковое картографирование растительного покрова России. Монография // Изд-во ИКИ РАН, 2016, 208 с.
10. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З. Показатели влияния погодных условий на экономику: чувствительность потребителя к воздействию гидрометеорологическому фактору // Метеорология и гидрология, 2000, № 2, с. 5–9.
11. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З. Климатическая система и обеспечение гидрометеорологической безопасности жизнедеятельности в России // Метеорология и гидрология, 2004, № 4, с. 120–129
12. Белолубцев А.И., Сенников В.А. Биоклиматический потенциал агроэкосистем. Учебное пособие // М., Изд-во РГАУ-МСХА, 2013, 161 с.
13. Беляева И.П., Рачкулик В.И., Ситникова М.В. Определение параметров растительного покрова фотометрическим методом // Информационное письмо № 3 (63), Ташкент, УГМС, 1969, 58 с.
14. Береза О.В., Лупян Е.А., Страшная А.И. О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Современные проблемы

дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд-во ИКИ РАН, 2015, т. 12, № 1, с. 20–35.

15. Борисоглебский Г.И. Авиационные агрометеорологические наблюдения для оценки и прогнозирования состояния зерновых культур на больших площадях // Труды Гидрометцентра СССР, 1967, вып. 9, с. 106–115.
16. Борисоглебский Г.И., Весенин Н.А., Моисейчик В.А. Использование результатов наземных и самолётных агрометеорологических наблюдений для оценки и прогноза состояния озимых культур на больших площадях // Труды Гидрометцентра СССР, 1968, вып. 24, с. 15–24.
17. Бриллиант В.А. Фотосинтез как процесс жизнедеятельности растений. М.: АН СССР, 1949, 256 с.
18. Броунов П.И. Сельскохозяйственная метеорология, т.2. Л., Гидрометеиздат, 1928, 340 с.
19. Вавилов Н.И. Мировые ресурсы зерновых культур и льна. М.–Л.: АН СССР, 1957, 460 с.
20. Вавилов Н.И. Проблемы происхождения, географии, генетики, селекции растений, растениеводства и агрономии // Избранные Труды, М., Наука, 1965, т.5, 786 с.
21. Вавилов П.П. и др. Растениеводство. М.: Агропромиздат, 1986, с. 30–38.
22. Вериго С.А. Методика составления прогноза запасов продуктивной влаги в почве и оценка влагообеспеченности зерновых культур // Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. Л., Гидрометеиздат, 1957, с. 143–164.
23. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства). Л., Гидрометеиздат, 1973, 327 с.
24. Вильфанд Р.М., Страшная А.И. Климат, прогнозы погоды и агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства в условиях изменения климата. Сборник докладов международной научно–практической конференции «Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно–климатическим условиям». М.: Издательство РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011, с. 23–38.
25. Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // Труды гидрометеорологического научно–исследовательского центра Российской Федерации, 2016, вып. 360, с.45–78.
26. Воейков А.И. Климаты земного шара, в особенности России. СПб: Ильин, 1884, 640 с.
27. Воскова А.В. Современные фенологические тенденции в природе центральной части Русской равнины // Дис. канд. геогр. наук: 25.00.36. М., 2007, 149 с.
28. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Г. В. Алексеев, М. Д. Ананичева, О. А. Анисимов и др. // ФГБУ «НИЦ» «Планета» М, 2014, 60 С.
29. Гельвер Е.С., Семенов С.М. Влияние климата конца XX века на территории России на теплообеспеченность сельскохозяйственных растений. В кн. «Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем», том XX.

- СПб, Гидрометеиздат, 2005, с. 301–310.
30. Голубева Е.И., Котова Т.В., Тульская Н.И. Атласное картографирование продукционных процессов наземных экосистем России // Известия высших учебных заведений, Геодезия и аэрофотосъемка. М.: Московский университет геодезии и картографии, № 5, 2016, с. 8–12.
  31. Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А. Взаимосвязь вегетационного индекса с климатическими параметрами и структурными характеристиками растительного покрова // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. М.: Наука, 2006, т. 42, № 4, с. 524–238.
  32. Гончаренко А.А. Состояние производства и селекция озимой ржи в Российской Федерации. Екатеринбург.: Нива Урала, № 6, 2012, с. 4–6.
  33. Гордеев А.В., Бутковский В.А. Россия – зерновая держава. М.: ДеЛи принт, 2009, 470 с.
  34. Грингоф И.Г., Клещенко А. Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии, т. I. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. Учебное пособие. Обнинск: ВНИИГМИ–МЦД, 2011, 808 с.
  35. Грудева А.Я. Об оценке агрометеорологических условий осенней вегетации озимых // Метеорология и гидрология, 1966, № 5, с. 42–45.
  36. Груза Г.В., Платова Т.В., Ранькова Э.Я. Оценка сезонных особенностей региональных проявлений изменения глобального климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2010, т. 23, с. 11–22.
  37. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск.: ФГБУ «ВНИИГМИ–МЦД», 2012 г., 194 с.
  38. Давитая Ф.Ф. Методы сельскохозяйственной оценки климатов и агрометеорологического районирования. В кн.: «Лекции по сельскохозяйственной метеорологии». Л., Гидрометеиздат, 1966, с. 241–272.
  39. Долгушин Д.А. Особенности стадийного развития озимой пшеницы в условиях осеннего посева. М.: Агробиология, 1958, № 3, с. 19–33.
  40. Долгушин Д.А. О стадийном развитии растений. М.: Земледелие, 1962, № 9, с. 3–10
  41. Долгушин Д.А., Никифоров О.А. Особенности стадийного развития однолетних растений // Вопросы генетики, селекции и семеноводства, 1968, вып. 8, с. 225–243.
  42. Дорофеев В.Ф., Якубцинер М.И., Руденко М.И. и др. Пшеницы мира. Л.: Колос, 1976, 487 с.
  43. Жуков В.А., Полевой А.Н., Витченко А.Н., Даниелов С.А. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. Л., Гидрометеиздат, 1989, 207 с.
  44. Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. М.: Советская наука, 1950, 790 с.
  45. Задонцев А.И., Бондаренко В.И. Качество всходов и продуктивность озимых хлебов в условиях недостаточного увлажнения. В кн.: «Повышение зимостойкости и продуктивности озимой пшеницы». Днепропетровск, 1974, с. 81–100.
  46. Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В. Климатология засухи на юго–востоке

- Русской равнин по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса, 2003, № 1, с. 83–89.
47. Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Черенкова Е.А. Динамика засух в Европейской России в ситуации глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2007, т. 21, с. 160–182.
  48. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Новый подход к мониторингу очагов опустынивания // Аридные экосистемы, том. 17, № 3(48), 2011, с. 14–22
  49. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Виноградова В.В., Черенкова Е.А. Воздействие меняющегося климата на засухи, опустынивание и жизнедеятельность населения засушливых земель Европейской части России // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН, Махачкала, Изд-во Института геологии Дагестанского научного центра РАН, № 67, 2016, с. 97–100
  50. Зубарев Н.А. Скорость прорастания семян и сроки появления всходов зерновых культур при различных агрометеорологических условиях. В кн.: «Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий». Л., Гидрометеиздат, 1957, с. 28–48.
  51. Иванов А.Л. Глобальные изменения климата и реакция атмосферы. В кн. «Глобальные проявления изменений климата в агропромышленной сфере». М.: Россельхозакадемия, 2004, с. 7–24.
  52. Иванов А.Л., Кирюшин В.И., Усков И.Б., Белолубцев А.И. и др. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России // Коллективная монография «Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России», М. Изд-во: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2009, 518 с.
  53. Инструкция по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов (под редакцией Е.С. Улановой) // М., Гидрометеиздат, 1983, 6 с.
  54. Касимов Н.С., Голубева Е.И., Лурье И.К., Зимин М.В., Самсонов Т.Е., Тутубалина О.В., Рис У.Г., Михеева А.И., Аляутдинов А.Р. Библиотека спектральных характеристик географических объектов в структуре Геопортала МГУ // Вестник Московского университета, Серия 5, География, 2015, № 5, с. 3–8.
  55. Каулакис Р.В., Ламсодоне И.П., Пятраускас С.Л. Первые итоги дистанционного спектрометрирования посевов зерновых культур Литвы, Исследование состояний геосистем дистанционными методами. М.: ИГ АН СССР, 1987, с. 156–165.
  56. Кельчевская Л.С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии. Л., Гидрометеиздат, 1971, 215 с.
  57. Кислов А.В., Суркова Г.В. Климатология. Учеб. пособие для вузов, 3–е изд. М.: НИЦ ИНФРА–М, 2016, 324 с.
  58. Клещенко А.Д. Дистанционные методы исследования агрометеорологических объектов. Л., Гидрометеиздат, 1986, 251 с.
  59. Клещенко А.Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов. Л., Гидрометеиздат, 1986, 190 С.
  60. Клещенко А.Д. Современные проблемы мониторинга засух // Труды

- ВНИИСХМ, 2000, вып. 33, с. 3–13.
61. Клещенко А.Д., Вирченко О.В. Технология оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур и мониторинг засух по спутниковой информации // Труды ВНИИСХМ, 2006, вып. 35, с. 3–33.
  62. Клещенко А.Д., Вирченко О.В., Савицкая О.В. Ежедекадная оценка урожайности зерновых культур по спутниковой и наземной информации // Труды ВНИИСХМ, 2010, вып. 37, с. 82–95.
  63. Клещенко А.Д., Вирченко О.В., Савицкая О.В. Технология ежедекадной оценки урожайности зерновых культур по спутниковой и наземной агрометеорологической информации // Земля из космоса – наиболее эффективные решения: тезисы 5-й международной конференции. М.: Инженерно-технологический Центр СканЭкс, НП «Прозрачный мир», Бином, 2011, с. 182–183.
  64. Клещенко А.Д., Найдина Т.А., Гончарова Т.А. Использование данных дистанционного зондирования для моделирования продукционного процесса кукурузы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд-во ИКИ РАН, 2012, № 3, с. 259–268.
  65. Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Комплексное использование наземной агрометеорологической информации и спутниковых данных для оценки урожайности зерновых культур // Труды ИПГ, 2011, вып. 90, с. 204–212.
  66. Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Технология ежедекадной оценки урожайности зерновых культур по спутниковой и наземной агрометеорологической информации // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, Изд-во ИКИ РАН, 2011, т.8, с. 178–182.
  67. Клещенко А.Д., Страшная А.И., Вирченко О.В., Хомякова Т.В., Чуб О.В. Оперативный агрометеорологический мониторинг засух на территории Российской Федерации в условиях глобального изменения климата // Труды ВНИИСХМ, 2013, вып. 38, с.87–109.
  68. Клещенко А.Д., Вирченко О.В., Савицкая О.В. Спутниковый мониторинг состояния и продуктивности посевов зерновых культур // Труды ВНИИСХМ, 2013, вып. 38, с. 54–70.
  69. Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Оценка пространственно-временного распределения урожайности зерновых культур и стандартизованного индекса осадков (SPI) по спутниковой и наземной информации // Труды ГГО – СПб., ООО «Д’АРТ», 2014, вып. 571, с. 147–161.
  70. Код для составления декадных и ежедневных агрометеорологических телеграмм (КН–21) // М., 2008, 101 с.
  71. Кобышева Н.В., Васильев М.П. Уязвимость социальной сферы регионов России к опасным гидрометеорологическим явлениям // Труды ГГО им. А.И. Воейкова, 2015, вып. 578, с. 59–73.
  72. Козельцева В.Ф. К прогнозу устойчивого перехода температуры воздуха через 5 и 0°С осенью // Труды ГМИЦ СССР, 1982, вып. 227, с. 78–85.
  73. Кондратьев К.Я., Виноградов Б.В. Космические методы земледования. Л.: Гидрометеиздат, 1971, 191 с.
  74. Кондратьев К.Я., Федченко П.П. Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. Л.: Гидрометеиздат, 1982, 217 с.



75. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М.: Дрофа, 2010, 640 с.
76. Коровин А.И., Мамаев Е.В., Мокиевский В.М. Осенне–весенние условия погоды и урожай озимых. Л.: Гидрометеиздат, 1977, 160 с.
77. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. Л.: Гидрометеиздат, 1984, 272 с.
78. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Высшая школа, 2006, 742 с.
79. Кулик М.С. Об оценке засушливых явлений // Метеорология и гидрология, 1952, № 1, с. 35–40.
80. Кулик М.С. Оценка агрометеорологических условий осенней вегетации озимых // Метеорология и гидрология, 1964, № 8, с. 16–22.
81. Куперман Ф.М., Дворянкин С.А., Ростовцева З.П., Ржанова Е.И. Этапы формирования органов плодоношения злаков. М.: МГУ, 1955, 318 с.
82. Куперман Ф.М. Биологические основы культуры пшеницы. М.: МГУ, ч. 1, 1950, ч. 2, 1953, ч. 3, 1956.
83. Куперман Ф.М. Физиология развития, роста и органогенеза пшеницы // В кн.: Физиология сельскохозяйственных растений. М.: МГУ, 1969, с. 7–204.
84. Куперман Ф.М. Физиология устойчивости пшеницы. В кн. «Физиология сельскохозяйственных растений». М.: МГУ, 1969, с. 401–500.
85. Куперман Ф.М., Моисейчик В.А. Методическое пособие по оценке состояния озимых культур в осенне–зимне–весенний период методом биологического контроля. М.: Гидрометеиздат, 1973, 20 с.
86. Ливанов К.В. Устойчивость урожая озимых культур в Заволжье. В кн. «Зимостойкость сельскохозяйственных культур». М.: МСХ СССР, 1960, с. 68–69.
87. Личикаки В.М. Перезимовка озимых культур. М.: Колос, 1974, 207 С.
88. Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер, 2009, № 6, с.47–49.
89. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд–во ИКИ РАН, 2011, Т.8, № 1, с.190–198.
90. Максимов Н.А. Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений. Водный режим и засухоустойчивость. М.: АН СССР, 1952, т. 1, 386 с.
91. Максаковский В.П. Географическая картина мира (в 2 кн.), Кн. I: «Общая характеристика мира», 4–е изд. М.: Дрофа, 2008, 495 с.
92. Максименкова Т.А. Способы расчёта и оценки состояния озимых зерновых культур осенью на больших площадях // Метеорология и гидрология, 1976, № 5, с. 89–95.
93. Максименкова Т.А. Методы оценки и прогноза состояния озимых зерновых культур осенью // Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, 1990, 51 с.
94. Материалы к стратегическому прогнозу изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России (под ред. А.И. Бедрицкого). М., 2007, 88 с.
95. Методические указания «Оценка состояния посевов озимых культур в осенний

- и весенний периоды вегетации для южных районов Европейской части СССР на основе цифровой обработки спутниковых данных» под редакцией А.Д. Клещенко (РД 52.33.255–90) // М., Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1991, 14 с.
96. Мещерская А.В. О показателе засух и урожайности зерновых культур // Метеорология и гидрология, 1988, № 2, с. 91–98.
  97. Мирвис В.М., Гусева И.П., Мещерская А.В. Тенденции изменения временных границ теплого и вегетационного сезонов на территории бывшего СССР за длительный период // Метеорология и гидрология, № 9, 1996, с. 106–116.
  98. Мищенко З.А. Агроклиматология. Киев.: КНТ, 2009, 512 с.
  99. Моисейчик В.А. Агрометеорологическое обоснование сроков сева озимых культур на юго–востоке Европейской территории СССР // Труды ЦИП, вып. 47 (74), 1956, с. 42–50.
  100. Моисейчик В.А. Использование результатов наземных и самолетных агрометеорологических наблюдений для оценки и прогноза состояния озимых культур на больших территориях // Труды Гидрометцентра СССР, вып. 24, 1968, с. 15–23.
  101. Моисейчик В.А. Агрометеорологические методы диагностики состояния озимых культур в осенне–зимний период на больших территориях (области, края, республики). В кн. «Диагностика зимостойкости озимых зерновых культур». М.: ВНИИТЭИ по сельскому хозяйств, 1971, с. 99–110.
  102. Моисейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л., Гидрометеиздат, 1975, 295 с.
  103. Моисейчик В.А. «Составление долгосрочных агрометеорологических прогнозов перезимовки озимых культур на территории областей, республик и в целом по СССР». Методическое указание. Л., Гидрометеиздат, 1978, 74 с.
  104. Моисейчик В.А., Шавкунова В.А. Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимой ржи. Л., Гидрометеиздат, 1986, 165 с.
  105. Мошков Б.С. Выращивание растений при искусственном освещении. Л.: Сельхозгиз, 1966, 287 с.
  106. Мурей И.А., Шульгин И.А. Количественный физиологический анализ поглощения ФАР растениями // Физиология растений, 1978, т. 25, вып. 4, с. 611–680.
  107. Мурыгин А.Б., Бондур В.Г., Игнатьев В.Ю., Гороховский К.Ю. Прогнозирование урожайности на основе многолетних космических наблюдений за динамикой развития вегетации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд–во ИКИ РАН, 2013, т.10, № 4, с. 245–256.
  108. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам // (РД 52.33.217–99) вып. II, ч.1, книга 1. М.: Росгидромет, 2000, 347 с.
  109. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев (15–е Тимирязевские чтения). М.: Наука, АН СССР, 1956, 94 с.
  110. Ничипорович А.А. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Наука, 1966, 224 с.
  111. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения её продуктивности. М.: Наука, 1972, с 511–527.

112. Носатовский А.И. Пшеница (биология). М.: Сельхозгиз, 1950, 407 с.
113. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1967, 242 с.
114. Педя Д.А. О показателях засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР, 1975, вып. 156, с. 19–38.
115. Петькова В.П. Оценка почвенно–климатических условий возделывания озимой ржи на территории СССР // Труды ИЭМ, 1976, вып. 6 (57), с. 58–82.
116. Плотников Д.Е., Барталев С.А., Лупян Е.А. Метод детектирования летне–осенних всходов озимых культур по данным радиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд–во ИКИ РАН, 2008, вып. 5, т. II, с. 322–330.
117. Плотников Д.Е., Барталев С.А., Жарко В.О., Михайлов В.В., Просяникова О.И. Экспериментальная оценка распознаваемости агрокультур по данным сезонных спутниковых измерений спектральной яркости // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд–во ИКИ РАН, 2011, т. 8, № 1, с.199–208.
118. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. СПб, Гидрометеиздат, 1992, 424 с.
119. Пруцков Ф.М. Озимая пшеница. М.: Колос, 1970, 344 с.
120. Разумов В.И. Среда и развитие растений. Л. – М.: Сельхозиздат, 1961, 366 С.
121. Рачкулик В.И., Ситникова М.В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова. Л., Гидрометеиздат, 1981, 287 с.
122. Ремесло В.Н., Куперман Ф.М., Животков Л.А. и др. Селекция и сортовая агротехника пшеницы интенсивного типа. М.: Колос, 1982, 303 с.
123. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. Л., Гидрометеиздат, 1975, 342 с.
124. Руководство по проведению авиамаршрутных агрометеорологических обследований (под редакцией Б.И. Огородникова). М., Гидрометеиздат, 1971, 104 с.
125. Савин И.Ю., Лупян Е.А., Барталев С.А. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур России. М.: GEOMATICS, 2011, № 2, с. 69–76.
126. Свисюк И.В. Погода и урожайность озимой пшеницы на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье. Л., Гидрометеиздат, 1980, 208 с.
127. Свисюк И.В. Погода, интенсивная технология и урожай озимой пшеницы. Л., Гидрометеиздат, 1989, 226 с.
128. Селянинов Г.Т. Происхождение и динамика засух. Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л., Гидрометеиздат, 1958, с. 5–30.
129. Селянинов Г.Т. Агроклиматическая карта мира. Л., Гидрометеиздат, 1966, 12 с.
130. Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. Выявление климатогенных изменений. М.: Издательский центр «Метеорология и гидрология», 2006, 324 с.
131. Семенов С.М., Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Попов И.О., Титкина С.Н. Распределение приповерхностной температуры на территории России и соседних стран при заданном уровне глобального потепления. Проблемы

- экологического мониторинга и моделирования экосистем. М.: Наука, 2013, т. 25, с. 29–41.
132. Сиротенко О.Д. Методы оценки изменений климата для сельского хозяйства и землепользования. Н. Новгород: «Вектор – Т и С», 2007, 77 с.
133. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н. Динамика климатообразующих изменений теплообеспеченности и продуктивности земледельческой зоны России. // Труды ВНИИСХМ, 2013, вып. 38, с. 41–53.
134. Сказкин Ф.Д. Недостаток воды в почве и устойчивость к нему хлебных злаков в различные периоды их развития. СПб.: Естественно–научный институт им. П.Ф. Лесгафта, 1955, т. 27, с. 121–134.
135. Сладких Л.А., Захватов М.Г., Сапрыкин Е.И., Сахарова Е.Ю. Технология мониторинга состояния посевов по данным дистанционного зондирования Земли на юге Западной Сибири // Геоматика, 2016, № 2 (31), с. 39–48.
- 136.
137. Страшная А.И. Использование показателей увлажнения для оценки засушливости и прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур в Поволжском экономическом районе // Труды Гидрометцентра России, 1993, вып. 327, с. 15–22.
138. Страшная А.И. Исследование засух и их влияния на урожайность зерновых культур в Российской Федерации. Научный отчет Гидрометцентра России. М., 2000, 19 с.
139. Страшная А.И., Коренкова Н.В. О засушливости в Среднем Поволжье и её влиянии на урожайность яровой пшеницы // Труды Гидрометцентра России, 2005, вып. 340, с. 25–34.
140. Страшная А.И., Богомолова Н.А. О каталоге сильных почвенных засух под ранними яровыми зерновыми культурами в Чернозёмной зоне России // Труды Гидрометцентра России, 2005, вып. 340, с. 35–47.
141. Страшная А.И. Состояние и проблемы оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства на федеральном уровне в условиях глобального изменения климата // Труды ВНИИСХМ, 2007, вып.36, с. 78–91.
142. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Об изменении агроклиматических условий вегетации и сроков сева озимых культур осенью в Центральном федеральном округе в связи с потеплением климата // Труды Гидрометцентра России, 2009, вып.343, с. 141–158.
143. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Богомолова Н.А., Чуб О.В. Об агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства в период уборки и осенней вегетации озимых зерновых культур в условиях потепления климата. // Труды ВНИИСХМ, 2010, вып.37, с. 42–67.
144. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды Гидрометцентра России, 2011, вып. 345, с. 194–214.
145. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. О сроках сева озимых культур в условиях изменения климата и их прогнозирование в Приволжском федеральном округе // Труды Гидрометцентра России, 2011, вып. 345, с.175–193.
146. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Оперативное

- агрометеорологическое обеспечение аграрного сектора экономики России в современных условиях // Труды ВНИИСХМ, 2013, вып. 38, с. 21–40
147. Страшная А.И., Барталев С.А., Максименкова Т.А., Чуб О.В., Толпин В.А., Плотников Д.Е., Богомоллова Н.А. Агрометеорологическая оценка состояния озимых зерновых культур в период прекращения вегетации с использованием наземных и спутниковых данных на примере Приволжского федерального округа // Труды Гидрометцентра России, 2014, вып. 351, с. 85–107.
148. Страшная А.И., Тарасова Л.Л., Богомоллова Н.А., Максименкова Т.А., Береза О.В. Прогнозирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в центральных чернозёмных областях на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Труды Гидрометцентра России, 2015, вып. 353, с. 128–153.
149. Тиунов А.Н., Глухих К.А., Хорькова О.А. Озимая рожь. М.: Колос, 1969, 392 с.
150. Тимирязев К.А. Земледелие и физиология растений: сборник общедоступных лекций. М.: типолитограф. т-ва И.Н. Кушнерев и К°, 1906, 355 с.
151. Тимирязев К.А. Солнце, жизнь и хлорофилл. М.: Сельхозгиз, 1948, т.1, с. 82–692.
152. Толпин В.А. и др. Возможности анализа архивов спутниковых данных для выбора годов аналогов в системе дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд-во ИКИ РАН, 2009, т. 2, с. 560–571.
153. Толпин В.А. Возможности информационного сервера СДМЗ АПК // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Изд-во ИКИ РАН, 2010, т. 7, № 2, с. 221–230.
154. Толпин В.А. и др. Спутниковый сервис «ВЕГА» // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. М.: Инженерно-технологический центр Сканекс, 2011, с. 32–37.
155. Толпин В.А., Лупян Е.А., Барталев С.А. Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» // Оптика атмосферы и океана, 2014, т. 27, № 7 (306), с. 581–586
156. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л., Гидрометеиздат, 1977, 200 с.
157. Трофимовская А.Я. Ячмень. Л.: Колос, 1972, 296 с.
158. Трунова Т.Н. Световой и температурный режимы при закаливании озимой пшеницы и значение олигосахаров для морозостойкости // Физиология растений, 1965, т. 12, № 1, с. 85–93.
159. Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкость растений. М.: Наука, 1979, 352 с.
160. Уланова Е.С. Применение математической статистики в агрометеорологии для нахождения уравнений связи. М., Гидрометеиздат, 1964, 110 с.
161. Уланова Е.С. Метод долгосрочного агрометеорологического прогноза урожая озимой пшеницы весенним запасам влаги в почве и числу уцелевших после перезимовки стеблей // Труды ЦИП, 1965, вып. 145, с. 67–89.
162. Уланова Е.С. Главные инерционные агрометеорологические факторы для формирования урожаев озимой пшеницы в Черноземной зоне и долгосрочных

- прогноз ее урожайности // Труды Гидрометцентра СССР, 1967, вып. 9, с. 10–22.
163. Уланова Е.С., Сиротенко О.Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1968, 198 с.
164. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л., Гидрометеиздат, 1975, 301 с.
165. Уланова Е.С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогноза урожайности зерновых культур. Л., Гидрометеиздат, 1982, 53 с.
166. Уланова Е.С., Страшная А.И. Засухи в России и их влияние на производство зерна // Труды ВНИИСХМ, 2000, вып. 32, с. 64–83.
167. Федосеев А.П. Агротехника и погода. Л., Гидрометеиздат, 1979, 240 с.
168. Фролов А.В., Страшная А.И. О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур. В кн. «Сборник докладов совместного заседания Президиума Научно-технического совета Росгидромета и Научного совета Российской академии наук. Исследования по теории климата Земли». М.: Триада ЛТД, 2011, с. 22–31.
169. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. М.: МГУ, 2001, 520 с.
170. Черепанов А.С. Вегетационные индексы. М.: Геоматика, 2011, № 2, с. 98–102.
171. Чирков Ю.И. Агрометеорология. Л., Гидрометеиздат, 1986, 294 с.
172. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата // Обнинск. ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008, 247 с.
173. Шерстюков Б.Г. Изменения климата: причины и прогноз // Земля и Вселенная, № 3, 2017, с. 30–44
174. Шмакин А.Б., Попова В.В. Современное потепление и изменение повторяемости климатических экстремумов в Северной Евразии. В кн. «Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий: зарубежный опыт и проблемы России». М.: изд-во научных изданий ММК, 2005, с. 356–369.
175. ШигOLEв А.А. Руководство для составления фенологических прогнозов. Методические указания. М.: Изд-во ЦИП, 1951, вып. 15, 35 с.
176. ШигOLEв А.А. Методика составления фенологических прогнозов // В кн.: Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. Л.: Гидрометеиздат, 1957, с. 5–18.
177. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеиздат, 1972, 341 с.
178. Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. Л.: Гидрометеиздат, 1978, 200 с.
179. Шульгин И.А. Морфофизиологические приспособления растений к свету. Оптические свойства листьев. М.: МГУ, 1963, 74 с.
180. Шульгин И.А. Растение и Солнце. Л.: Гидрометеиздат, 1973, 252 с.
181. Шульгин И.А. Лучистая энергия и энергетический баланс растений. М.: Альтекс, 2004, 142 с.
182. Шульгин И.А. Солнечные лучи в зеленом растении. М.: Альтекс, 2009, 186 с.
183. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. Солнечная радиация в оценках урожайности яровых культур // Биосфера, 2015, т.7, № 4, с. 371–383.
184. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Береза О.В., Страшная А.И. Солнечная радиация в сумерки как физиологически активный фактор регуляции скорости развития

- яровых зерновых культур. // Известия ТСХ, 2017, № 1, с. 56–74
185. Яковлев Н.Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы. Л.: Гидрометеоиздат, 1966, 419 с.
  186. Якубцинер М.М. Видовые и сортовые растительные ресурсы пшениц мира и их использование в селекции: Доклад обобщение опубликованных научных трудов, представленное на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук (по совокупности). Л.: Ленингр. сельхозинститут, 1961, 46 с.
  187. Якубцинер М.М., Руденко М.И., Булчевская И.И. и др. Каталог справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 13. Пшеница. Л.: ВИР, 1964 г., 168 с.
  188. Якубцинер М.М. Сортовые и видовые богатства пшениц мира и их использование. В кн.: Вопросы географии культурных растений и Н.И. Вавилов. М.: АН СССР, 1966, с. 44–65.
  189. Якубцинер М.М. Мировая коллекция пшеницы – ценный исходный материал для селекции. В кн. «Н.И. Вавилов и сельскохозяйственная наука». Л.: Наука, 1969, с. 229–251.
  190. Якушев В.П., Иванов А.Л. Оценка изменений климата и стратегия адаптации к ним земледелия. В кн. «Сборник докладов Международной научно–практической конференции». М.: РГАУ МСХ им. К.А. Тимирязева, 2011, с. 58–64.
  191. Balzter H., Gerard B., Weedon G., Grey W., Combal B., Bartholome E., Bartalev S.A., Los S. Coupling of Vegetation Growing Season Anomalies with Hemispheric and Regional Scale Climate Patterns in Central and East Siberia // Journal of Climate, 2007, Vol. 20, No. 15, p. 3713–3729.
  192. Boogaard H.I., Eerehs H., Supit I., Diepenvan C.A., Piccard L, Kempeneers P. ivlETAMP. Methodology Assesment of MARS Prediction/Report 1/3. Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). Study contract number 19226–2002–02 FIFED isp – IPSC (Institute for the Protection and Security of the Citizen) December 2002.
  193. Bhuiyan C., Singh R.P., Kogan F.N. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and re–mote sensing data // Int. J. Appl. Earth. Obs. Geoinf., 2006, Vol. 8, p. 289–302.
  194. Cihlar J., Manak D., Voisin N. AVHRR bidirectional reflectance effects and compositing // Remote Sens. Environ, 1994, Vol. 35, p. 77–88.
  195. Clevers J.G. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index // Remote Sensing of Environ, 1988, Vol. 35, p. 53–70.
  196. de Wit A., Duveiller G., Defourny P., Estimating regional winter wheat yield with WOFOST through the assimilation of green area index retrieved from MODIS observations, Agricultural and Forest Meteorology, 2012, Vol. 164, p. 39–52.
  197. Diepen, V. WOFOST: a simulation model of crop production / V. Diepen, J.Wolf, H. Van Keulen, C. Rappoldt // Soil Management, 1989, Vol. 5, p. 16–24.
  198. Dmytrenko V.P. Fruitfulness of Climate is the Basis of the General Concept of Agrometeorological Adaption Strategies to Climate Variability and Climate Change // Contributions from Members on Operational Applications in Agrometeorology and from Discussants of the Papers Presented at the International Workshop: «Agrometeorology in the 21 st Century Needs and Perspectives». Commission for Agricultural Meteorology. CAgM Report № 77 b. – WMO/TD № 1029. – Geneva,

- Switzerland, 2001, p.43–45.
199. Frich P., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A.M.G., Peterson T. Observed Coherent Changes in Climatic Extremes during the Second Half of the Twentieth Century // *Climate Research*, 2002, Vol. 19, # 3. p. 193–212
  200. Hart J., Torn M.S., Chang F. Global warming and soil microclimate: results from meadow–warming experiment // *Ecological Applications* 5, 1995, p. 132–150
  201. Huges L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? // *Trends in Ecology and Evolution* 15, № 4, 2000, p. 56–61
  202. Huete A., Justice C., van Leeuwen W., MODIS vegetation index (MOD13), Algorithm theoretical basis document, 1999, Version 3, p. 19–21.
  203. Jamali S., Seaquist J., Eklundh L., Ardö J., Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel, *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 141, No. 9, p. 79–89.
  204. Keith Menzie Methods of Evaluating Agrometeorological Risks and Uncertainties for Estimating Global Agricultural Supply and Demand // *Managing Weather and Climate Risks in Agricultural* (Sivakumar M.V.K., Motha R.P.) // Berlin Heidelberg New York, Springer, 2007, p. 520
  205. Kleschenko A.D. Crop state monitoring and crop's productivity forecasting in Russia / A.D. Kleschenko, O.D. Sirotenko, O.V. Virchenko // *Agrometeorological Monitoring in Russia and Central Asian Counties*. – Joint Research Centre, 2006, p. 77–84.
  206. Kogan, F.N. Vegetation index for areal analysis of crop conditions / F.N. Kogan // *Proc. 18th Conf. of Agricultural and Forest Meteorology*, 1987, p. 103–107.
  207. Kogan F., Gitelson A., Zakarin E., Spivak L., Lebed L. AVHRR–based spectral vegetation index for quantitative assessment of vegetation state and productivity: Calibration and validation // *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 2003, Vol. 69(8), p. 899–906.
  208. Lobell D.B., Hicke J.A., Asner G.P. et al. Satellite estimates of productivity and light use efficiency in United States agriculture 1982–1998 // *Glob. Chang. Biol.*, 2002, Vol. 8, p. 722–735.
  209. Menzel A., Fabian P. Growing season extended in Europe, *Nature*, vol. 397, 1999, p. 659
  210. McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S. Climate change 2001. Impacts, adaptations and vulnerability. Cambridge University Press, 2001, 1032 p.
  211. Pan Y., Li L., Zhang J., Liang S., Zhu X., Sulla-Menashe D., Winter wheat area estimation from MODIS–EVI time series data using the Crop Proportion Phenology Index, *Remote Sensing of Environment*, 2012, Vol. 119, p. 232–242.
  212. Peñuelas P. and Filella I., Responses to a warming world, *Science*, 2001, Vol. 294, p. 793–795.
  213. Philander, S. George. Is the temperature rising? The uncertain science of global warming. Princeton University Press, 1998, 263 p.
  214. Richardson, A. J. Using spectra vegetation indices to estimate rangeland productivity / A.J. Richardson, J.H. Everitt // *Geocarto International*, 1992, Vol. 1., p. 63–69.
  215. Salinger J., Sivakumar M.V.K., Motha R.P Increasing Climate Variability and Change



- //Reducing the Vulnerability of Agriculture and Forestry // Springer, 2005, p. 358.
216. Schwartz M.D. Monitoring global change with phenology: the case of the spring green wave // Int. J. Biometeorology 38, 1994, p. 18–22.
217. Shaimardanov M., Korshunov A. The Use of Hydrometeorological Information in the Various Economic Sectors. Conference on the Economic Benefits of Meteorological and Hydrological–Services // Geneva, Switzerland, WMO/TD 1994, № 630, p. 28–36.
218. Strasnaya A., Maksimenkova T., Chub O. Grain Yield Prediction in the Russian Federation // Use of Satellite and In–Situ Data to Improve Sustainability // Springer, Netherlands, 2010, p. 93–97.
219. Wiegand C.L., Richardson A.J., Escobar D.E., Gerbermann A.H., Vegetation Indices in Crop Assessments, Rem. Sens. Environment, 1991, No. 35, p. 105–119.

### **Электронные ресурсы:**

220. Федеральная служба государственной статистики (Росстат)  
Режим доступа: <https://fedstat.ru/indicator/31328>  
[http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#)
221. Береза О.В., Страшная А.И., Барталев С.А., Возможности расчётов количественной оценки состояния озимых зерновых культур в период прекращения вегетации в Центральном федеральном округе России на основе комплексирования наземных и спутниковых данных. В кн. «Тезисы докладов Четырнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 2016 г.  
Режим доступа:  
[http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5957](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5957)
222. Информационно–правовой портал Гарант РУ. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации:  
Режим доступа: <http://base.garant.ru/12172719/>
223. Отдел «Технологии спутникового мониторинга» ИКИ РАН  
Режим доступа: <http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=144>.
224. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности (Веб–сервис «ВЕГА»)  
Режим доступа: <http://pro-vega.ru/>
225. European Commission Joint Research Center  
Режим доступа: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Bulletins–Publications>
226. Crop and Food Supply Assessment Missions  
Режим доступа: <http://www.fao.org/docrep/004/x0003e/imgs/ccd98.htm>
227. Глобальная система информации и раннего предупреждения по проблемам продовольствия и сельского хозяйства (GIEWS)  
<http://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=RU>
228. Crop Explorer. Foreign Agricultural Service (United States Department of Agriculture)  
Режим доступа: [http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/ce\\_help.cfm](http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/ce_help.cfm)  
Режим доступа: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/>
229. Crop Condition Data Retrieval and Evaluation (CADRE)  
Режим доступа:  
<https://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/datasources.aspx#Abstract>

- <https://www.pecad.fas.usda.gov/>
230. «GIS–Lab» – Географические информационные системы и дистанционное зондирование  
Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>
231. Проект MARS–FOOD  
Режим доступа:  
<https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc-mars-bulletin-vol25-no3.pdf>