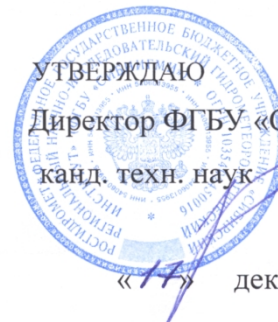


Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей
среды (Росгидромет)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «СИБИРСКИЙ
РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ФГБУ «СибНИГМИ»)



А.Б. Колкер

«17» декабря 2019 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методы прогнозов урожайности яровой пшеницы по
административным районам Кемеровской области
по теме

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОГНОЗОВ И ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИИ
ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ
НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

(заключительный)

Шифр темы 1.1.7.1 р.1

Руководитель НИР, ведущий
научный сотрудник, к.-с.-х.н.

Т.В. Старостина

Новосибирск 2019

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методы прогноза урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области

(Проект)

Настоящие методические указания рекомендованы для использования в оперативной работе ФГБУ «Кемеровский ЦГМС» ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» при прогнозировании урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области в единые по России сроки (21-23 июня и 21-23 июля).

Предлагаемая методика разработана с использованием данных наземных и спутниковых наблюдений на гидрометеорологических станциях и с учетом статистических сведений об урожайности территориальной федеральной службы государственной статистики Кемеровской области с 1971 по 2017 годы. Методы прогнозов базируются на физико-статистических моделях. В ходе разработки моделей изучена многолетняя динамика урожайности культуры, выявлены наиболее значимые факторы и показатели формирования урожая. Опробованы алгоритмы решения задач и изучены статистические свойства ошибок прогнозов на архивном и тестовом материале по моделям для данной культуры. Отобраны наиболее информативные факторы.

В настоящих методических указаниях изложено описание моделей для прогнозирования урожайности яровой пшеницы с учетом наземной и спутниковой информации, методические аспекты, обоснование структуры модели и технология ее создания. Приведены результаты авторских испытаний метода на независимом материале 2015-2017 годов. Разработана автоматизированная технология расчета прогноза урожайности яровой пшеницы на персональном компьютере. Указания предназначены для специалистов агрометеорологов, занимающихся вопросами агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства.

ВВЕДЕНИЕ

Яровая пшеница является одной из важнейших продовольственных культур, возделываемых в Кемеровской области. В балансе посевных площадей яровая пшеница занимает более 50 %. Основные площади яровой пшеницы в Кемеровской области расположены в зоне неустойчивого увлажнения, поэтому влагообеспеченность по годам может меняться в значительных пределах, определяя степень благоприятности всего комплекса агрометеорологических условий для произрастания культуры.

Исследования, проведенные сотрудниками ФГБУ «СибНИГМИ», показали, что природные условия и климатические ресурсы Кемеровской области потенциально благоприятны для возделывания яровой пшеницы. Однако вследствие значительной изменчивости агрометеорологических условий по времени и пространству урожайность сильно колеблется по годам и районам. В последние годы на динамику урожайности заметно влияет специфика материально-технических условий, а также наблюдающиеся изменения регионального климата и агроклиматических ресурсов, усиление антропогенных воздействий на окружающую среду. Эти обстоятельства усложняют процедуру прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур и требуют дополнительных усилий для обеспечения даже прежних требований к оправдываемости прогнозов.

В системе оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства значительная роль отводится агрометеорологическим прогнозам урожайности сельскохозяйственных культур. Новые модели и технологии с применением персональных компьютеров обеспечивают повышение точности, устойчивости и оперативности получения результатов прогноза; способствуют повышению качества агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. По районам Кемеровской области до настоящего времени не разработан метод прогноза урожайности яровой пшеницы, однако потребность довольно большая. Разработка метода выполнялась с

ориентацией на принятые в Росгидромете оперативные сроки составления прогнозов (21-23 июня и 21-23 июля).

Данная работа заявлена оперативным подразделением ФГБУ «Кемеровский ЦГМС» в режиме острой необходимости обновления существующих в настоящее время методов прогнозов. Она продолжает ряд ранее выполненных в ФГБУ «СибНИГМИ» исследований по применению статистического моделирования продукционного процесса основных сельскохозяйственных культур для оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства отдельных субъектов Сибирского федерального округа.

В работе рассмотрены и разработаны модели прогнозов урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области с использованием наземной и спутниковой информации. Модели включают наряду со стандартными агрометеорологическими параметрами новые спутниковые данные дистанционного зондирования.

Работа включает также создание технологической линии информационного обеспечения расчетов на персональном компьютере с использованием данных агрометеорологических наблюдений, поступающих по каналам связи в системе "ГИС МЕТЕО" и электронной версии агрометеорологических таблиц ТСХ-1.

1 Методические аспекты и обоснование структуры модели

В данной работе рассмотрены и разработаны модели прогноза урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области с использованием наземной и спутниковой информации. Модели включают наряду со стандартными агрометеорологическими параметрами (осадки, температура и дефицит насыщения воздуха) новые спутниковые данные дистанционного зондирования. Вовремя предоставленный прогноз администрациям районов помогает уменьшить экономические потери, связанные с рисками природного характера. В данной работе делается оценка влияния различных факторов на точность прогноза.

Функционирование сельскохозяйственного производства в силу своей природы подвержено значительным рискам. По мере развития производства минимизация этих рисков требует все более эффективного инструментария. Важной составляющей такого рационального землепользования необходимой на всех этапах от разработки и внедрения программ страхования до применения эффективных технологий внесения удобрений, является информация. Источником такой информации стали в последнее десятилетие новые модули спутникового зондирования поверхности земли способные измерять и обрабатывать различные участки спектра. Вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности, показатель количества активной биомассы и самый распространенный среди подобных ему индексов, используется, как в исследовательских, так и коммерческих проектах, связанных с дистанционным зондированием поверхности земли и растительного покрова. Данные по этому индексу, получаемые по всей территории России с реальной регулярностью 3-4 раза в неделю и разрешением 250 м были накоплены и архивированы с 2000 года и дали начало новому направлению исследований. Методом поиска аналогов

временного хода вегетационных индексов разработаны автоматизированные методы мониторинга и анализа состояния посевов в любом регионе России. Технология представления данных позволяет строить карты отклонений вегетационного индекса от среднемноголетних значений для любого административного района. Возможно построение графиков временной изменчивости значений индекса для указанной точки земной поверхности. Приводятся конкретные примеры использования спутникового мониторинга состояния посевов на уровне страны и отдельных субъектов РФ.

В качестве примера использования вегетационного индекса NDVI в ЕС издающегося по проекту Европейской комиссии MARS (Monitoring Agricultural ResourceS) публикуются точные и своевременные прогнозы ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур по территории союза и других стратегических регионов мира. Технология системы AGRI4CAST, оперативно работающая с 1992 года, в состоянии контролировать весь вегетационный период таких культур как, зерновые, масличные, белковые, сахарной свеклы, картофеля, рис, пастбища, способна реагировать на эффекты краткосрочного метеорологического воздействия. Эффективность системы обеспечивают данные дистанционного зондирования и метеорологических наблюдений, агрометеорологическое моделирование и статистический анализ.

Два спутника, запущенные на полярные орбиты в 1999 году Terra и Aqua с установленным на борту модулем MODIS с периодичностью не более 2 дней и разрешением не лучше 250 м сканируют всю поверхность земли в 36 спектральных диапазонах. В числе прочих характеристик рассчитывается вегетационный индекс.

В настоящее время отечественной агрометеорологической наукой достигнуты значительные успехи в разработке методов прогноза урожайности сельскохозяйственных культур [1-2]. На практике прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, как правило,

ведется с учетом результатов расчетов либо по физико-статистическим, либо по динамико-статистическим моделям.

2 Основы метода прогноза урожайности яровой пшеницы в Кемеровской области

Яровая пшеница на исследуемой территории является основной зерновой культурой. В длительный период от всходов до восковой спелости формируются цветки, зачаточный колос, зерно, идет интенсивный прирост растительной массы. В этот период темп развития пшеницы тесно связаны с температурным режимом и условиями увлажнения. Известно, что решающими факторами формирования урожайности яровой пшеницы во всех природных зонах Кемеровской области является достаточная тепло- и влагообеспеченность вегетационного периода.

Эти факторы роста и развития в большинстве лет на территории области находятся не в сбалансированном виде. Редко бывают годы, когда наблюдается избыток влаги и недостаток тепла. Чаще всего на основной земледельческой части возделывания яровой пшеницы в области наблюдаются годы с достаточным количеством тепла и недостаточным количеством влаги.

По территории Кемеровской области проанализированы данные урожайности яровой пшеницы с 1971 по 2017 годы (таблица 1). Из таблицы 1 видно, что характеристики урожайности по территории и по годам заметно меняются. Самые низкие средние величины урожайности отмечены в Ижморском районе (11,7 ц/га) и Яшкинском районе (12,9 ц/га), наибольшие – в Промышленном районе (16,6 ц/га), Чебулинском и Ленинск-Кузнецком районах (16,2 и 16,1 ц/га соответственно). Большая изменчивость урожайности по годам отмечается в Прокопьевском районе (38 %), Топкинском и Ленинск-Кузнецком районах (32 %). Относительно устойчивая динамика урожайности в Тяжинском районе (20 %) и Тисульском районе (24 %). По условиям увлажнения большая часть посевных площадей яровой пшеницы расположены в зонах неустойчивого увлажнения. Вследствие часто

повторяющихся засушливых явлений урожайность яровой пшеницы сильно колеблется по годам из-за недостаточной влагообеспеченности посевов. Так, 2012 год был аномально сухим практически во всех районах Кемеровской области. На этот же год приходится минимальная урожайность.

Таблица 1 - Характеристики урожайности (ц/га) яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области (1971-2017 годы)

Район	Мариинский	Тяжинский	Тисульский	Яшкинский	Яйский	Ижморский	Чебулинский	Юргинский	Топкинский
Среднее	14,1	14,2	14,0	12,9	13,1	11,7	16,2	13,6	14,8
Максимум (год)	23,2 (2007)	19,1 (1992)	20,4 (2003)	21,6 (1987)	21,8 (2004)	18,7 (1992)	26,2 (2003)	22,2 (1987)	23,7 (2009)
Минимум (год)	6,8 (1979)	7,9 (1974)	8,0 (1975)	5,7 (2012)	6,1 (1977)	3,7 (2012)	8,3 (2012)	4,1 (2012)	5,0 (2012)
Коэффициент вариации, %	28	20	24	26	29	27	27	30	32

Продолжение таблицы 1

Район	Кемеровский	Крапивинский	Промышленный	Л-Кузнецкий	Гурьевский	Беловский	Прокопьевский	Новокузнецкий
Среднее	15,7	13,9	16,6	16,1	15,3	13,1	13,1	14,0
Максимум (год)	23,6 (1987)	21,0 (1987)	24,9 (1987)	26,9 (1987)	23,0 (2017)	21,6 (1987)	23,1 (1987)	23,7 (1987)
Минимум (год)	6,2 (2012)	4,4 (1981)	5,3 (2012)	4,7 (2012)	7,4 (2012)	4,3 (1981)	4,4 (1981)	4,1 (1976)

Коэффициент т вариации, %	28	26	26	32	23	31	38	30
---------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----

2.1 Природные условия Кемеровской области

Кемеровская область расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины в основном в пределах бассейна р. Томи. Её площадь составляет 95,5 тыс. км², протяжённость по меридиану 500 км (рисунок 1).

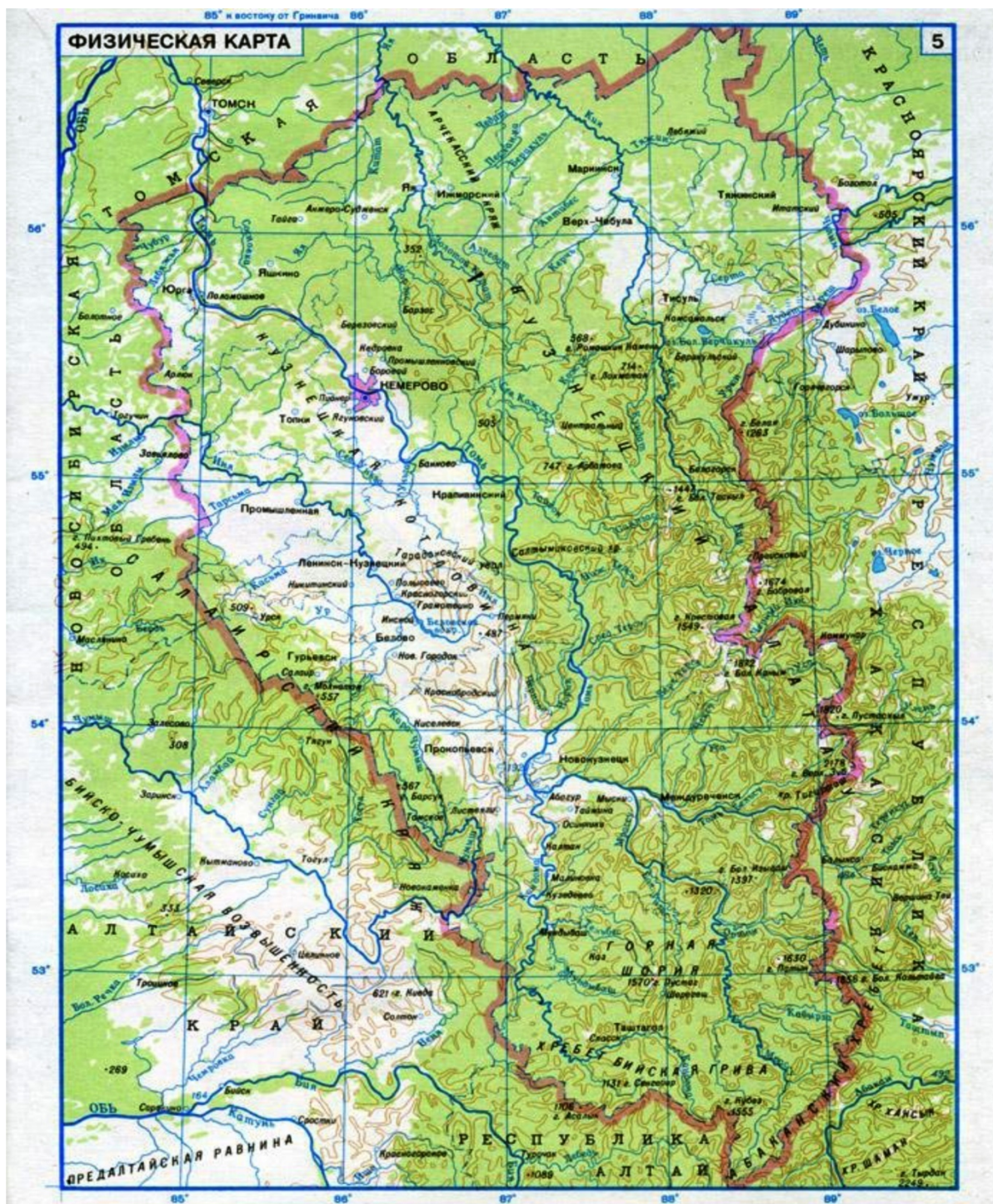


Рисунок 1 – Физико-географическая карта Кемеровской области

Рельеф области отличается большим разнообразием: на западе протянулся Салаирский кряж, на востоке – Кузнецкий Алатау, между ним расположена Кузнецкая котловина, которая на севере сливается с Западно-Сибирской равниной. На юге Салаирский кряж и Кузнецкий Алатау, сближаясь, соединяются с Алтайскими горами. Этот район называется Горной Шорией [3].

Салаирский кряж входит в пределы области своим восточным склоном и представляет собой приподнятую возвышенность (400 – 470 м), лишь отдельные высоты достигают 600 м. возвышенность имеет вид волнистых грив со слабовыраженными вершинами и широкими долинами. Северовосточный склон её круто, в виде отчётливо выраженных уступов высотой 100 – 150 м, поднимается над Кузнецкой котловиной.

Кузнецкий Алатау состоит из сложной системы горных массивов и коротких кряжей с плоскими, относительно ровными вершинами. Кряжи расположены в самых разнообразных направлениях и расчленены густой сетью притоков рек Томи и Кии и глубокими, нередко скалистыми ущельями. Отдельные высоты достигают 2000 м.

Кузнецкая котловина в пределах области имеет вид неправильного прямоугольника, вытянутого с севера-запада на юго-восток. Её длина превышает 350 км, а ширина достигает 100 – 120 км. Общая площадь котловины около 30 тыс. км². Она представляет собой волнистую равнину, расчленённую густой сетью широких пологосклонных долин и балок, в центральной части которой протекает р. Томь. Высоты в северной части котловины составляют 100 – 200 м, на юге они возрастают до 400 – 500 м. Равнинный рельеф котловины нарушается лишь в её центральной части рядом невысоких горных кряжей. Кузнецкая котловины получила название Кузнецкого угольного бассейна, так как большая часть её территории сложена угленосными породами.

Почвенный покров горной территории области довольно однообразный. В лесном поясе преобладают глубокоподзолистые почвы черневой тайги.

Ниже лесного пояса вдоль восточной окраины Салаирского края, в полосе, переходной к Кузнецкой котловине, почвы более разнообразны. Наряду со слабоподзолистыми почвами здесь встречаются серые лесные и оподзолистые чёрноземы, местами непосредственно, почти без переходов смыкающиеся с глубокоподзолистыми почвами тайги [3]. На сниженных высотах Кузнецкого Алатау формируются горно-лесные глубокоподзолистые почвы. В высокогорном поясе встречаются небольшие участки горно-тундровых и несколько чаще – горно-луговых почв. Крутые склоны почти совершенно лишены почвенного покрова.

В пределах равнинной части Кузнецкой котловины развиваются зональные типы почвенного покрова. Для центральной части котловины характерно преобладание выщелоченных и оподзоленных суглинистых чернозёмов. Наряду с ними встречаются оподзоленные, преимущественно тёмноцветные богатые гумусом темно-серые почвы лесостепи. В понижениях рельефа, по долинам рек и днищам балок, развиваются солончаковые торфянистые и карбонатные лугово-болотные почвы. На более сухих участках долин формируются ясно выраженные столбчатые солонцы. Засоленные почвы характерны для лугов и долин, лежащих между рекой Инёй и Салаирским краем. В других местах котловины засоленные почвы не развиты.

На Предсалаирской равнине под остепнёнными лугами развиты выщелоченные среднемошные чернозёмы, а также оподзоленные преимущественно тяжелосуглинистого механического состава. Значительные массивы под берёзовыми травянистыми лесами и вырубками заняты тёмно-серыми и серыми лесными почвами.

В пределах Мариинской лесостепи на водораздельными пространствах и верхних террасах крупных реках под пологом берёзовых и сосново-берёзовых травянистых лесов развиваются серые лесные почвы развиваются в сочетании с выщелоченными чернозёмами. Террасы рек заняты выщелоченными чернозёмами. По нижним надпойменным террасам развиты лугово-черноземные и луговые почвы.

Салаирский кряж находится полностью в пределах лесного пояса. Степная растительность подходит к его подножью только на примыкающих участках Кузнецкой котловине. В Кузнецкой Алатау фрагментарно выражен высокогорный пояс; по восточному склону разряженными участками встречается степная растительность, но основная площадь этого склона также покрыта лесами. Леса горной части области характеризуются широким развитием формации черневой тайги. Общий ландшафт Кузнецкой котловины – лесостепной. Наиболее остепненная её часть находится в присалаирской части бассейна р. Или. К периферии котловины начинает проявляться влияние вертикальной поясности, и облесённость увеличивается.

Естественный растительный покров Предсалаирской равнины и Мариинской лесостепи представлен луговыми степями, чередующимися с участками берёзовых лесов.

Климат области резко континентальный. Определяется он сложным взаимодействием циркуляционных факторов и характером подстилающей поверхности. Отличительные черты климата – жаркое и короткое лето, холодная и многоснежная зима с умеренными, редко сильными ветрами и метелями, переходные периоды непродолжительны [3].

Средняя температура воздуха самого тёплого месяца (июля) 16,0 – 18,5°, в отдельные годы температура может существенно отличаться от средней. Абсолютный максимум температуры воздуха достигает 35 – 37°, а в предгорьях Салаирского кряжа и Кузнецкого Алатау 38 – 39°. Самым холодным месяцем является январь. Средняя температура воздуха в январе составляет – 17,5 – 19,5°

Абсолютный максимум температуры воздуха опускается до минус 45, минус 48° в Горной Шории и до минус 50, минус 57° в предгорьях Кузнецкого Алатау. Средняя годовая амплитуда температуры воздуха (разница между средней температурой самого холодного и самого тёплого месяцев) равна 34 – 38°. Абсолютная амплитуда температуры (разница между абсолютным максимумом и абсолютным минимумом температуры) достигает 80 – 85°, а в предгорьях Салаирского кряжа и Кузнецкого Алатау 90 – 95°.

Тёплый период (с температурой выше 0°) начинается со второй декады апреля и длится до второй декады октября, в среднем продолжительность его составляет 175 – 195 дней.

Осадки на рассматриваемой территории в связи с большим разнообразием рельефа распределяются крайне неравномерно и колеблются за год в больших пределах: от 400 до 900 мм. В Кузнецкой котловине количество осадков увеличивается по мере приближения к горам Кузнецкого Алатау. На западных его склонах, а также в Горной Шории выпадает наибольшая годовая сумма осадков – до 1000 – 1400 мм, т.е. на западных склонах Салаирского кряжа и Кузнецкого Алатау в местах, наиболее открытых для влажных ветров, осадков выпадает в среднем на 80 – 100% больше, а на восточных подветренных – на 20 – 25 % меньше, чем на равнине.

В годовом ходе осадков наименьшее количество их наблюдается в феврале и марте и не превышает 10 – 20 мм, на отдельных станциях, расположенных на западных и юго-западных склонах Кузнецкого Алатау, количество осадков составляет 33 – 37 мм. В месяц максимума осадков (июль – август) их выпадает 70 – 90 мм, а на отдельных возвышенных местах Кузнецкого Алатау 100 – 150 мм.

В отдельные годы, в зависимости от условий атмосферной циркуляции, как минимум, так и максимум могут быть сдвинуты на другие месяцы, месячные количества осадков также могут значительно отклоняться от многолетнего среднего значения. Среднее количество осадков за май – сентябрь составляет 250 – 350 мм, на западных склонах Кузнецкого Алатау увеличивается до 350 – 450 мм, а на отдельных станциях – до 600 мм.

В Кемеровской области наблюдается неравномерность в количестве выпадения осадков. По главному хребту и западным склонам Кузнецкого Алатау атмосферных осадков выпадает за год больше 1000 мм. Это один из самых увлажненных районов Сибири. В южной лесостепи осадков выпадает около 350 мм, а на восточных склонах Кузнецкого Алатау и того меньше.

Среднегодовое количество осадков на Кузнецкой котловине составляет 400-450 мм.

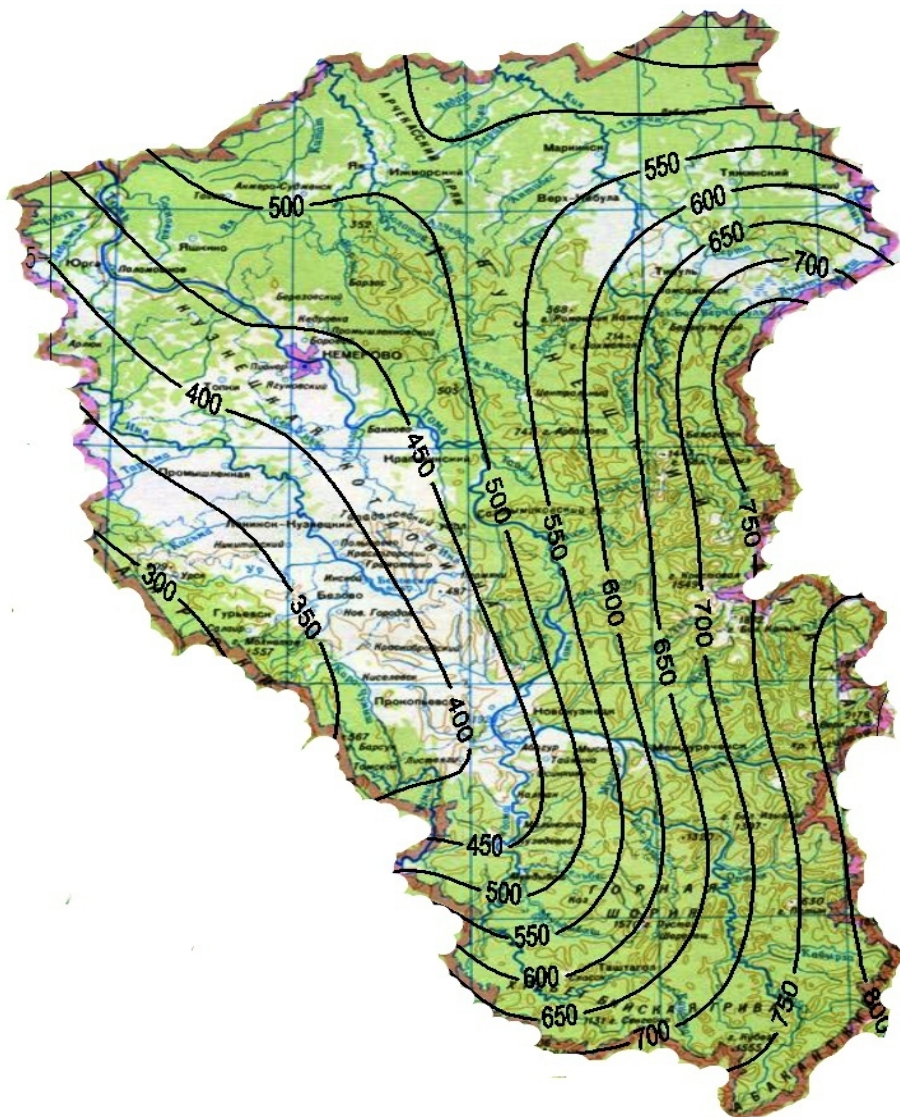


Рисунок 2 – Среднегодовое количество осадков на территории Кемеровской области, мм

3 Методы прогнозов урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области с использованием наземной информации

Как известно у каждой сельскохозяйственной культуры свои требования к условиям среды, причем эти требования не остаются постоянными на протяжении всего вегетационного цикла, а меняются в

зависимости от фаз развития. Нами исследовалось влияние температуры воздуха, осадков, дефицита влажности воздуха на урожайность яровой пшеницы в административных районах Кемеровской области. Широко использованы комплексные показатели тепло- и влагообеспеченности: ГТК Селянинова, коэффициенты увлажнения Чиркова и т.д.

Проведенные нами исследования показали, что влияние температуры и осадков в течение вегетационного периода на урожайность яровой пшеницы проявляется во всех районах Кемеровской области. Однако, корреляционный анализ урожайности яровой пшеницы с указанными показателями погодных условий показал, что достаточно высокая связь получена с осадками весенне-летнего периода и менее тесные обратные связи получены между урожайностью и температурой воздуха. Как известно, значение осадков, характеризующих условия увлажнения яровой пшеницы, весьма велико. Максимальный коэффициент корреляции между осадками и урожайностью получен за период с апреля по вторую декаду июля.

Существенное влияние на формирование урожайности на данной территории оказывает влагообеспеченность растений. Одним из определяющих факторов будущей урожайности являются осадки. Наиболее значимы осадки с мая по июнь, когда у яровой пшеницы происходит рост стебля, дифференциация стеблевых узлов, интенсивный прирост растительной массы, закладка колоса, элементов цветка, что предопределяет число зерен в колосе, а также создаются условия для формирования повышенной массы 1000 зерен. В тоже время для данного периода характерно длительное бездождье, сопровождающееся суховейными явлениями, что может нарушить нормальное прохождение у растений важных для формирования урожая процессов развития.

При сложившихся засушливых условиях весенне-летнего периода немаловажное значение имеют зимние осадки, являющиеся комплексным показателем потенциальных возможностей увлажнения почвы весной.

Влияние зимних осадков отмечается в некоторых районах Кемеровской области.

В начальных фазах развития яровой пшеницы по исследуемым районам Кемеровской области урожайность не лимитируется термическими условиями. Здесь связь практически отсутствует. Значения же увлажнения с самого начала вегетации существенны, о чем свидетельствуют коэффициенты корреляции между урожайностью, с одной стороны и суммами осадков за периоды всходы – колошение. Значение температуры воздуха возрастает с фазы выход в трубку при сохранении достаточного весомого значения условий увлажнения.

Вегетационный период яровой пшеницы в Кемеровской области ограничен маем, июнем и июлем, в августе завершается налив и созревание зерна, а в сентябре проводится массовая уборка пшеницы. В качестве основных агрометеорологических факторов, определяющих условия вегетации и формирование урожая, мы использовали гидротермический коэффициент с мая по вторую декаду июля, учитывающий осадки и температуру. Как показали проведенные нами исследования при сопоставлении этих факторов с урожайностью оказалось, что в основном неблагоприятные агрометеорологические условия, резко снижающие урожайность пшеницы, складываются при низких значениях ГТК за май – июнь, т.е. при возникновении засушливых явлений. В годы, когда за май – июнь ГТК равен 0.8 и выше, влагообеспеченность бывает достаточной, урожайность пшеницы, как правило, выше линии тренда.

Важным является период второй декады июля, когда у пшеницы наступает колошение. Недостаточная влагообеспеченность и повышенный температурный режим в этот период могут привести к значительному снижению урожая. Большую информативность имеют комплексные показатели, которые отражают как термический режим, так и условия увлажнения.

Нами проведена большая работа по нахождению связей между урожайностью яровой пшеницы и рядом агрометеорологических факторов. В результате было получено более 100 коэффициентов парной корреляции, которые дали возможность наглядно представить в количественном выражении влияние каждого агрометеорологического фактора на урожайность яровой пшеницы.

Наиболее значимые показатели были включены в физико-статистические модели для расчета урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области, таблица 2. Разработка методов выполнялась с ориентацией на принятые в Росгидромете оперативные сроки составления прогноза урожайности яровой пшеницы - предварительного (21-23 июня) и уточненного (21-23 июля) и соответствующие критерии оправдываемости.

В Приложении А представлены программы расчета прогнозов урожайности и валового сбора яровой пшеницы в электронном виде для персонального компьютера, а в Приложении Б - технология расчета прогнозов урожайности и валового сбора яровой пшеницы на персональном компьютере.

На рисунке 3 представлена схема административных районов, на территории которых возделывается яровая пшеница (за исключением Таштагольского района) [4].



Рисунок 3 – Схема административных районов Кемеровской области

Таблица 2 - Физико-статистические модели для прогноза урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области

Номер модели	Срок составления прогноза	Вид модели	Коэффициент корреляции (R)	Стандартное отклонение ($\pm S_y$), ц/га	Порядковый номер года (принят за 1)
1	2	3	4	5	6
Мариинский район					
1	21-23 июня	$y=8,549+0,005OC_{III-IV}+0,388 \Gamma T K V - VI_2 +0,198n$	0,65	3,1	1971
2	21-23 июня	$y=10,665 +0,006OC_{III-IV} -0,159TV_3 - VI_2+0,201n$	0,65	3,1	
3	21-23 июля	$y=5,65+0,016OC_{IV-VI} +2,019 \Gamma T KVI_3 - VII_2+0,185n$	0,72	2,8	
4	21-23 июля	$y=9,806 +0,025OC_{IV-VII} + -0,250TVI_3 - VII_2+0,192n$	0,71	2,9	
Тяжинский район					
1	21-23 июня	$y=13,699 + -0,035OC_{IV-V} +0,946 \Gamma T KV_3 -VI_2 +0,047n$	0,44	2,7	1971
2	21-23 июня	$y=16,062 +0,000OC_{III-IV} + -0,224TV_3 - VI_2 +0,058n$	0,26	2,9	
3	21-23 июля	$y=12,614 + -0,032OC_{IV-V} +1,832 \Gamma T KV_3 - VII_2 +0,046n$	0,45	2,7	
4	21-23 июля	$y=5,712 +0,013OC_{IV-VII} +0,383TV - VII_2 +0,028n$	0,32	2,9	
Тисульский район					
1	21-23 июня	$y=10,580 + -0,032OC_{III-IV} +0,528\Gamma T KV -VI_2 +0,170n$	0,63	2,7	1971
2	21-23 июня	$y=10,555 +0,003OC_{III-IV} -VI_2 + -0,063TV -VI_2+0,159n$	0,60	2,8	
3	21-23 июля	$y=9,190 +0,003OC_{III-IV} +0,39\Gamma T KVI_3 -VII_2 +0,161n$	0,61	2,8	
4	21-23 июля	$y=-0,143 +0,019OC_{VI-VII} +0,461TVI_3 -VII_2+0,152 n$	0,65	2,7	

Яшкинский район					
1	21-23 июня	$y=11,821 \pm 0,038 \text{OC III - IV} + 0,983 \Gamma \text{ T K V} - \text{VI}_2 + 0,068n$	0,37	3,2	1971
2	21-23 июня	$y=15,022 + 0,007 \text{OC IV - VI}_2 + -0,416 \Gamma \text{ V} - \text{VI}_2 + 0,060n$	0,31	3,24	
3	21-23 июля	$y=8,828 + 0,007 \text{OC III - VI}_2 + 1,493 \Gamma \text{ T KVI}_3 - \text{VII}_2 + 0,042n$	0,37	3,2	
4	21-23 июля	$y=16,476 + 0,014 \text{OC IV - VII}_2 + -0,589 \Gamma \text{ V} - \text{VII}_2 + 0,058n$	0,41	3,10	
Яйский район					
1	21-23 июня	$y=7,964 + 0,013 \text{OC IV - V}_2 + 1,487 \Gamma \text{ T KV}_3 - \text{VI}_2 + 0,116n$	0,48	3,6	1971
2	21-23 июня	$y=5,945 + 0,035 \text{OC V - VI}_2 + 0,141 \Gamma \text{V}_3 - \text{VI}_2 + 0,112n$	0,45	3,6	
3	21-23 июля	$y=19,464 + 0,032 \text{OC V - VII}_2 + -0,760 \Gamma \text{VI}_3 - \text{VII}_2 + 0,135n$	0,59	3,3	
4	21-23 июля	$y=11,292 + 0,029 \text{OC V - VII}_2 + -0,752 \Gamma \text{VI}_3 - \text{VII}_2 + 0,127n$	0,59	3,3	

Ижморский район					
1	21-23 июня	$y=8,170 + 1,898 \Gamma \text{ T KV}_3 - \text{VI}_2 + 0,015 \text{OC III - V}_2 + 0,009n$	0,47	3,0	1971
2	21-23 июня	$y=13,215 + -0,374 \Gamma \text{V}_3 - \text{VI}_2 + 0,028 \text{OC III - VI}_2 + 0,020n$	0,46	3,0	
3	21-23 июля	$y=7,678 + 0,723 \Gamma \text{ T KVI}_3 - \text{VII}_2 + 0,039 \text{OC V - VI}_2 + 0,013n$	0,39	3,1	
4	21-23 июля	$y=14,400 + 0,018 \text{OC III - VII}_2 + -1,005 \Gamma \text{V} - \text{VII}_2 + 0,022n$	0,47	3,0	
Чебулинский район					
1	21-23 июня	$y=17,692 + -0,026 \text{OC III - IV} + 0,737 \Gamma \text{ T K V} - \text{VI}_2$	0,13	4,2	1981

2	21-23 июня	$y=19,405+0,016OC\ IV - VI_2+,-0,535DV_3 - VI_2$	0,30	4,1	
3	21-23 июля	$y=15,119+-0,039OC\ III - IV +3,449\ \Gamma\ T\ KV - VII_2$	0,30	4,1	
4	21-23 июля	$y=17,928+0,028OC\ IV - VII_2 +,-0,750DVI_3 - VII_2$	0,45	3,8	
Юргинский район					
1	21-23 июня	$y=11,239+0,032OC\ III - IV +1,847\ \Gamma\ T\ KV - VI_2+0,001n$	0,20	3,5	1971
2	21-23 июня	$y=9,348+0,045OC\ IV - VI_2+0,080T\ V - VI_2+0,005n$	0,15	3,4	
3	21-23 июля	$y=10,036 +0,022OC\ III - IV+3,399\ \Gamma\ T\ KV - VII_2 +0,014n$	0,20	3,4	
4	21-23 июля	$y=16,206 +0,030OC\ IV - VII_2 +,-0,440T\ V - VII_2+0,033n$	0,12	3,3	

Топкинский район					
1	21-23 июня	$y=9,196+0,004OC\ III - V_2 +2,375\ \Gamma\ T\ KV_3 - VI_2+0,193n$	0,59	3,7	1971
2	21-23 июня	$y=13,666 +0,021OC\ III - VI_2 +,-0,579d\ V - VI_2+0,195n$	0,56	3,8	
3	21-23 июля	$y=5,445 +0,039OC\ II -VI_2 +1,254\ \Gamma\ T\ KVI_3 -VII_2+0,171n$	0,60	3,7	
4	21-23 июля	$y=13,340+0,020OC\ III -VII_2 +,-0,631dVI_3 -VII_2+0,185n$	0,62	3,6	
Кемеровский район					
1	21-23 июня	$y=8,794 +0,019OC\ III - IV +2,386\ \Gamma\ T\ KV -VI_2+0,116n$	0,44	4,2	1971
2	21-23 июня	$y=17,810 +,-0,651T\ V -VI_2+0,026OC\ IV -VI_2+0,137n$	0,47	4,2	
3	21-23 июля	$y=6,403+0,003OC\ III - IV +4,711\ \Gamma\ T\ KV -VII_2 +0,137n$	0,54	4,0	
4	21-23 июля	$y=22,246 +,-1,050T\ V - VII_2+0,031OC\ IV -VII_2+0,156n$	0,57	3,9	
Крапивинский район					
1	21-23 июня	$y=9,223 +0,004OC\ IV - V_2 +1,201\Gamma\ T\ KV_3 -VI_2+0,103n$	0,46	3,4	1971
2	21-23 июня	$y=25,667+-0,004OC\ III - VI_2 +,-1,160T\ V -VI_2+0,153n$	0,57	3,2	

3	21-23 июля	$y=20,342 +0,014OC \text{ IV} -VI_2 +,-0,596T VI_3 - VII_2+0,118n$	0,45	3,5	
4	21-23 июля	$y=29,266+0,013OC \text{ III} - VII_2 +,-1,471T V -VII_2+0,152n$	0,62	3,1	

		Промышленный район			
1	21-23 июня	$y=10,594+0,040OC \text{ IV} - V_2 +2,831 \Gamma T KV_3 - VI_2+0,045n$	0,45	4,0	1971
2	21-23 июня	$y=18,964+0,044OC \text{ IV} - VI_2 +,-0,531T V_3 - VI_2 +0,062n$	0,51	4,0	
3	21-23 июля	$y=20,348 +,-1,231d V - VII_2+0,023OC \text{ III} - VII_2+0,077n$	0,54	3,9	
4	21-23 июля	$y=7,433+0,063OC \text{ IV}-VI_2 +1,684 \Gamma TKVI_3 -VII_2+0,059n$	0,53	3,9	
		Ленинск-Кузнецкий район			
1	21-23 июня	$y=8,784+0,041OC \text{ III} -V_2 +3,042 \Gamma T KV_3 -VI_2+0,074n$	0,46	4,9	1971
2	21-23 июня	$y=25,036 +0,009OC \text{ II} -VI_2 +,-1,548DV_3 -VI_2+0,080n$	0,57	4,5	
3	21-23 июля	$y=30,625+0,057OC \text{ V} -VII_2 +,-1,306T VI_3 -VII_2+0,115n$	0,54	4,6	
4	21-23 июля	$y=34,436+0,005OC \text{ II} -VII_2 +,-2,904D V -VII_2+0,097n$	0,70	3,9	
		Гурьевский район			
1	21-23 июня	$y=9,315+0,059OC \text{ IV} - V_2 +1,894\Gamma TKV_3 -VI_2+0,043n$	0,44	3,2	1987
2	21-23 июня	$y=18,099+0,028OC \text{ V} - VI_2 +,-0,448T V - VI_2+0,058n$	0,36	3,4	
3	21-23 июля	$y=27,942+0,027OC \text{ III} - VII_2 +,-0,955T VI_3 -VII_2+0,039n$	0,52	3,1	
4	21-23 июля	$y=29,491+0,027OC \text{ V} -VII_2 +,-0,995T VI_3 - VII_2+0,058n$	0,51	3,1	

Беловский район					
1	21-23 июня	$y=10,833+0,026OC_{IV-V_2}+1,183ГТК_{V_3-VI_2}+0,042n$	0,30	3,3	1971
2	21-23 июня	$y=18,009+0,005OC_{IV-VI_2}-0,689DV_{VI_2}+0,054n$	0,32	3,3	
3	21-23 июля	$y=29,982-0,016OC_{IV-VII_2}-1,866DV_{VII_2}+0,083n$	0,45	3,1	
4	21-23 июля	$y=28,198+0,005OC_{III-VII_2}-0,814Т_{VI_3-VII_2}+0,042n$	0,33	3,3	
Прокопьевский район					
1	21-23 июня	$y=5,392+0,052OC_{IV}+2,483ГТК_{V-VI_2}+0,307n$	0,57	4,0	1991
2	21-23 июня	$y=5,538+0,029OC_{III-V_2}+1,949ГТК_{V_3-VI_2}+0,301n$	0,57	4,0	
3	21-23 июля	$y=6,243+0,027OC_{III-IV}+2,352ГТК_{V-VII_2}+0,272n$	0,55	4,1	
4	21-23 июля	$y=5,974+0,036OC_{IV-VI_2}-0,289ГТК_{VI_3-VII_2}+0,328n$	0,55	4,1	
Новокузнецкий район					
1	21-23 июня	$y=13,218-0,001OC_{IV-V_2}+0,887ГТК_{V_3-VI_2}$	0,21	4,1	1971
2	21-23 июня	$y=27,906+0,004OC_{II-VI_2}-1,076Т_{V-VI_2}$	0,14	4,1	
3	21-23 июля	$y=12,551+0,009OC_{IV-VI_2}+0,521ГТК_{VI_3-VII_2}$	0,39	3,8	
4	21-23 июля	$y=43,467+0,005OC_{IV-VII_2}-1,973Т_{V-VII_2}$	0,53	3,5	

Примечание:

У– средняя районная урожайность яровой пшеницы, ц/га;

OC V-VII_{1,2} – сумма осадков за периоды, указанные в индексе, мм (римскими цифрами в индексе указан месяц, арабскими – декада), в данном случае с первой декады мая по вторую декаду июля;

Т V-VII_{1,2} – среднесуточная температура воздуха за периоды, указанные в индексе, град. С;

D V-VII_{1,2} – среднесуточный дефицит насыщения воздуха за периоды, указанные в индексе, гПа;

ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова за периоды, указанные в индексах:

$$\text{ГТК V-VI}_{1,2} = \frac{\text{ОС V-VI}_{1,2}}{0,1 \Sigma \text{T V-VI}_{1,2}} ; \quad \text{ГТК V-VII}_{1,2} = \frac{\text{ОС V-VII}_{1,2}}{0,1 \Sigma \text{T V-VII}_{1,2}} ; \quad \text{ГТК VI}_2 - \text{VII}_2 = \frac{\text{ОС VI}_2 - \text{VII}_2}{0,1 \Sigma \text{T VI}_2 - \text{VII}_2} ;$$

где ОС V-VI_{1,2}, ОС V-VII_{1,2}, ОС VI₂ - VII₂, Σ T V-VI_{1,2}, Σ T V-VII_{1,2}, Σ T VI₂ - VII₂ – сумма осадков и сумма температур за указанный в формуле период;

n – порядковый номер года (1971 или 1981 год принят за 1).

3.1 Результаты авторских испытаний

Оценка успешности методов прогноза урожайности яровой пшеницы проводилась согласно “Методическим указаниям по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов” РД 52.27.284-91 [5].

Заключение о качестве метода проводилось на материалах трехлетней независимой выборки на основе двух критериев оправдываемости метода и его ошибки.

Критерием оправдываемости прогнозов при заблаговременности два месяца и меньше служит допустимая погрешность, равная $0,67\Delta\sigma$, при заблаговременности прогноза более двух месяцев $0,8 \Delta\sigma$, - где $\Delta\sigma$ - среднеквадратическое отклонение прогнозируемого элемента. Причем $\Delta\sigma$ рассчитывается по данным фактической урожайности за последние 15 лет, включая год прогноза.

В качестве погрешности прогноза принимается величина – относительная ошибка:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Y}{Y_{ф. ср.}} \cdot 100 \%,$$

где ΔY – абсолютная ошибка ($\Delta Y = Y_{ф} - Y_{п}$), $Y_{ф}$ – фактическая урожайность, $Y_{п}$ – прогностическая урожайность, $\bar{Y}_{ф. ср.}$ – среднее арифметическое значение фактической урожайности за последние пять лет.

Заключение о целесообразности использования метода производится на основании итогов сравнения успешности прогнозов, составленных по новому методу с инерционным и климатологическим. Сравнительная оценка успешности испытываемого метода прогноза урожайности яровой пшеницы по районам Кемеровской области в оба срока составления (21-23 июня и 21-23 июля) на основании РД и согласно утвержденной программы испытаний проводилась с инерционными и климатологическими прогнозами, поскольку

в настоящее время в оперативной практике отдела расчетный метод прогноза районной урожайности яровой пшеницы отсутствует.

За период авторских испытаний (2015-2017 годы) было проверено по 2 физико-статистические модели на два срока: 21-23 июня и 21-23 июля. Результаты испытания за 2015-2017 годы методического прогноза урожайности яровой пшеницы приведены в таблице 3, инерционного и климатологического прогнозов в таблице 4.

Средняя оправдываемость методического прогноза урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области (по величине относительной ошибки) на срок 21-23 июня и 21-23 июля составила около и выше 90 %, что значительно выше порога успешности агрометеорологических прогнозов. Средняя оправдываемость инерционного и климатологического прогнозов значительно ниже методических и в некоторые годы достигают 70,0 %.

Оценка оправдываемости составленных прогнозов по новому методу по величине допустимой погрешности ($\Delta\sigma$) позволила выявить число оправдавшихся методических, инерционных и климатологических прогнозов (табл. 3). По 16 административным районам все методические прогнозы оправдались. Оправдываемость метода составила 100 %, что на 17-67 % выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов. Не оправдался только один прогноз по Яшкинскому району в 2017 году, урожайность яровой пшеницы составила 20,4 ц/га - максимальная за все периоды наблюдений.

К достоинствам нового метода следует отнести то, что он позволяет прогнозировать урожайность яровой пшеницы в амбарном весе. Кроме того, для выполнения расчетов была создана и запущена полностью автоматизированная технология составления прогнозов и расчетов оценок, включая выборку данных из базы данных АСОАМИ и электронной версии ТСХ-1 в Кемеровском ЦГМС.

Таблица 3 – Результаты испытания методического прогноза урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области

Номер модели, год	Фактическая урожайность, ц/га	Допустимая погрешность, ц/га ($\Delta\sigma$)	Прогнозируемая урожайность, ц/га	Абсолютная ошибка, ц/га	Относительная ошибка, %
Мариинский район					
1. 2015	18,2	2,7	18,4	-0,2+	1,4
2016	18,3	2,6	18,3	0,0+	0,1
2017	19,5	2,6	18,5	1,0+	5,8
Среднее					2,4
2. 2015	18,2	2,7	18,4	-0,2+	1,5
2016	18,3	2,6	18,1	0,2+	1,6
2017	19,5	2,6	18,3	1,2+	7,3
Среднее					3,5
3. 2015	18,2	2,7	18,9	-0,7+	4,5
2016	18,3	2,6	18,8	-0,5+	3,3
2017	19,5	2,6	18,3	1,2+	7,2
Среднее					5,0
4. 2015	18,2	2,7	19,1	-0,9+	5,9
2016	18,3	2,6	18,4	-0,1+	0,5
2017	19,5	2,6	18,5	1,0+	6,2
Среднее					4,2
Тяжинский район					
1. 2015	15,1	2,2	13,6	1,5+	11,9
2016	15,1	2,2	14,6	0,5+	4,1
2017	13,8	2,2	13,6	0,2+	1,5
Среднее					5,8
2. 2015	15,1	2,2	15,1	0,0+	0
2016	15,1	2,2	15,0	0,1+	0,8
2017	13,8	2,2	15,1	-1,3+	9,9
Среднее					3,6
3. 2015	15,1	2,2	13,8	1,3+	10,3
2016	15,1	2,2	15,8	-0,7+	5,7
2017	13,8	2,2	13,8	0,0+	0
Среднее					5,3
4. 2015	15,1	3,3	15,5	-0,4+	3,2
2016	15,1	3,3	15,1	0,0+	0
2017	13,8	3,3	15,5	-1,7+	13,0
Среднее					5,4
Тисульский район					
1. 2015	16,3	2,4	16,7	-0,4+	2,7
2016	19,6	2,4	17,9	1,7+	11,1
2017	16,0	2,5	17,5	-1,5+	9,6
Среднее					7,8
2. 2015	16,3	2,4	17,3	-1,0+	6,6
2016	19,6	2,4	17,5	2,1+	13,5
2017	16,0	2,5	17,5	-1,5+	9,1
Среднее					9,7

3. 2015	16,3	2,4	17,5	-1,2+	7,6
2016	19,6	2,4	17,8	1,8+	11,7
2017	16,0	2,5	17,9	-1,9+	12,0
Среднее					10,4
4. 2015	16,3	2,4	17,1	-0,8+	4,9
2016	19,6	2,4	18,3	1,3+	8,1
2017	16,0	2,5	18,0	-2,0+	12,4
Среднее					8,5

Яшкинский район

1. 2015	13,7	2,2	12,2	1,5+	13,6
2016	13,5	2,2	13,5	0,0+	0,3
2017	20,4	2,5	16,6	3,8-	27,1
Среднее					13,7
2. 2015	13,7	2,2	13,2	0,5+	4,8
2016	13,5	2,2	13,9	-0,4+	3,8
2017	20,4	2,5	16,5	3,9-	27,9
Среднее					12,2
3. 2015	13,7	2,2	14,3	-0,6+	5,4
2016	13,5	2,2	13,8	-0,3+	2,7
2017	20,4	2,5	16,8	3,6-	25,7
Среднее					11,3
4. 2015	13,7	2,2	13,4	0,3+	2,7
2016	13,5	2,2	13,7	-0,2+	1,7
2017	20,4	2,5	16,8	3,6-	25,7
Среднее					10,0

Яйский район

1. 2015	13,9	3,0	15,1	-1,2+	10,3
2016	14,3	2,5	15,8	-1,5+	12,6
2017	14,8	2,5	15,2	-0,4+	3,3
Среднее					8,7
2. 2015	13,9	3,0	15,3	-1,4+	11,5
2016	14,3	2,5	15,9	-1,6+	13,9
2017	14,8	2,5	15,8	-1,0+	7,4
Среднее					10,9
3. 2015	13,9	3,0	15,1	-1,2+	9,9
2016	14,3	2,5	16,5	-2,2+	19,0
2017	14,8	2,5	16,7	-1,9+	14,4
Среднее					14,4
4. 2015	13,9	3,0	13,8	0,1+	0,9
2016	14,3	2,5	16,7	-2,4+	20,1
2017	14,8	2,5	16,6	-1,8+	13,7
Среднее					11,6

Ижморский район

1. 2015	11,6	2,9	11,5	0,1+	1,6
2016	10,6	2,8	11,9	-1,3+	14,7
2017	11,9	2,8	10,9	1,0+	9,7
Среднее					8,7
2. 2015	11,6	2,9	11,7	-0,1+	0,9
2016	10,6	2,8	12,1	-1,5+	17,4
2017	11,9	2,8	10,9	1,0+	9,6

Среднее					9,3
3. 2015	11,6	2,9	11,3	0,3+	4,1
2016	10,6	2,8	12,5	-1,9+	21,9
2017	11,9	2,8	11,9	0,0+	0,2
Среднее					8,7
4. 2015	11,6	2,9	10,5	1,1+	13,2
2016	10,6	2,8	12,0	-1,4+	16,3
2017	11,9	2,8	11,1	0,8+	7,4
Среднее					12,3

Чебулинский район

1. 2015	15,5	2,3	16,6	-1,1+	9,0
2016	17,3	2,4	17,3	0,0+	0,4
2017	18,7	2,4	17,5	1,2+	8,5
Среднее					6,0
2. 2015	15,5	2,3	17,5	-2,0+	17,0
2016	17,3	2,4	15,3	2,0+	16,1
2017	18,7	2,4	16,4	2,3+	15,8
Среднее					16,3
3. 2015	15,5	2,3	16,6	-1,1+	9,1
2016	17,3	2,4	17,7	-0,4+	3,2
2017	18,7	2,4	17,3	1,4+	9,7
Среднее					7,3
4. 2015	15,5	2,3	17,1	-1,6+	17,0
2016	17,3	2,4	17,5	-0,2+	16,1
2017	18,7	2,4	18,0	0,7+	18,4
Среднее					17,2

Юргинский район

1. 2015	16,3	3,0	14,6	1,7+	13,0
2016	14,7	3,0	14,4	0,3+	2,3
2017	16,4	3,0	14,3	2,1+	13,5
Среднее					9,6
2. 2015	16,3	3,0	14,7	1,6+	12,2
2016	14,7	3,0	14,3	0,4+	3,1
2017	16,4	3,0	14,9	1,5+	9,9
Среднее					8,4
3. 2015	16,3	3,0	14,6	1,7+	13,0
2016	14,7	3,0	15,1	-0,4+	3,1
2017	16,4	3,0	15,6	0,8+	5,2
Среднее					7,1
4. 2015	16,3	3,0	14,5	1,8+	13,7
2016	14,7	3,0	15,3	-0,6+	4,6
2017	16,4	3,0	16,1	0,3+	1,9
Среднее					6,7

Топкинский район

1. 2015	18,2	3,9	19,0	-0,8+	5,4
2016	17,3	3,7	18,0	-0,7+	4,6
2017	18,5	3,7	17,9	0,6+	3,1
Среднее					4,4
2. 2015	18,2	3,9	18,9	-0,7+	4,9
2016	17,3	3,7	18,1	-0,8+	4,9

2017	18,5	3,7	18,1	0,4+	2,2
Среднее					4,0
3. 2015	18,2	3,9	19,1	-0,9+	5,5
2016	17,3	3,7	19,6	-2,3+	14,7
2017	18,5	3,7	17,8	0,7+	4,1
Среднее					8,1
4. 2015	18,2	3,9	17,2	1,0+	6,6
2016	17,3	3,7	19,2	-1,9+	12,4
2017	18,5	3,7	19,0	-0,5+	3,0
Среднее					7,3

Кемеровский район

1. 2015	17,8	3,1	17,8	0,0+	0
2016	18,3	3,1	17,0	1,3+	8,4
2017	19,5	3,1	16,5	3,0+	16,1
Среднее					8,2
2 2015	17,8	3,1	17,7	0,1+	0,5
2016	18,3	3,1	16,1	2,2+	13,8
2017	19,5	3,1	16,5	3,0+	16,3
Среднее					11,7
3. 2015	17,8	3,1	16,4	1,4+	9,0
2016	18,3	3,1	17,8	0,5+	3,3
2017	19,5	3,1	17,2	2,3+	12,7
Среднее					8,3
4. 2015	17,8	3,1	15,9	1,9+	12,0
2016	18,3	3,1	18,1	0,2+	1,5
2017	19,5	3,1	17,3	2,2+	12,2
Среднее					8,6

Красноярский район

1. 2015	15,1	2,6	15,4	-0,3+	2,1
2016	15,5	2,6	14,7	0,8+	5,8
2017	16,5	2,6	15,5	1,0+	6,0
Среднее					4,6
2. 2015	15,1	2,6	15,3	-0,2+	1,4
2016	15,5	2,6	17,3	-1,8+	12,5
2017	16,5	2,6	16,1	0,4+	2,5
Среднее					5,5
3. 2015	15,1	2,6	15,5	-0,4+	2,6
2016	15,5	2,6	15,0	0,5+	3,5
2017	16,5	2,6	16,7	-0,2+	1,2
Среднее					2,4
4. 2015	15,1	2,6	15,0	0,1+	1,0
2016	15,5	2,6	16,1	-0,6+	4,4
2017	16,5	2,6	16,9	-0,4+	2,3
Среднее					2,6

Промышленный район

1. 2015	16,9	3,4	16,2	0,7+	5,3
2016	14,3	3,4	15,6	-1,3+	10,4
2017	18,1	3,4	15,9	2,2+	14,8
Среднее					10,2
2 2015	16,9	3,4	16,4	0,5+	4,1

2016	14,3	3,4	15,6	-1,3+	10,7
2017	18,1	3,4	15,9	2,2+	14,5
Среднее					9,8
3. 2015	16,9	3,4	14,8	2,1+	15,8
2016	14,3	3,4	16,4	-2,1+	16,7
2017	18,1	3,4	17,8	0,3+	2,3
Среднее					11,6
4. 2015	16,9	3,4	14,9	2,0+	15,4
2016	14,3	3,4	16,1	-2,1+	17,1
2017	18,1	3,4	17,3	0,8+	5,2
Среднее					12,6

Ленинск-Кузнецкий район

1. 2015	16,5	3,5	17,9	-1,4+	10,4
2016	12,3	3,4	15,3	-3,0+	24,4
2017	18,6	3,6	16,2	2,4+	16,2
Среднее					17,0
2. 2015	16,5	3,5	18,1	-1,6+	12,4
2016	12,3	3,4	13,1	-0,8+	6,4
2017	18,6	3,6	15,1	3,5+	23,2
Среднее					14,0
3. 2015	16,5	3,5	14,7	1,8+	13,5
2016	12,3	3,4	15,4	-3,1+	25,2
2017	18,6	3,6	19,6	-1,0+	6,6
Среднее					15,1
4. 2015	16,5	3,5	13,4	3,1+	23,3
2016	12,3	3,4	15,1	-2,8+	22,8
2017	18,6	3,6	17,0	1,6+	10,9
Среднее					19,0

Гурьевский район

1. 2015	16,3	3,1	15,0	1,3	8,7
2016	12,5	3,1	15,4	-2,9	21,9
2017	17,8	3,6	15,3	2,5	15,9
Среднее					15,5
2. 2015	16,3	3,1	15,0	1,3	8,8
2016	12,5	3,1	14,6	-2,1	15,9
2017	17,8	3,6	15,1	2,7	17,1
Среднее					13,9
3. 2015	16,3	3,1	14,1	2,2	15,1
2016	12,5	3,1	15,1	-2,6	19,0
2017	17,8	3,6	15,6	2,2	14,2
Среднее					16,1
4. 2015	16,3	3,1	13,9	2,4	16,4
2016	12,5	3,1	14,5	-2,0	14,9
2017	17,8	3,6	16,0	1,8	11,7
Среднее					14,3

Беловский район

1. 2015	14,5	2,8	14,5	0,0+	-0,2
2016	11,0	2,9	13,7	-2,7+	20,8
2017	17,8	3,1	14,8	3,0+	20,0
Среднее					13,7

2. 2015	14,5	2,8	14,4	0,1+	0,9
2016	11,0	2,9	13,7	-2,7+	20,7
2017	17,8	3,1	14,8	3,0+	20,0
Среднее					13,9
3. 2015	14,5	2,8	12,7	1,8+	13,0
2016	11,0	2,9	11,1	-0,1+	0,7
2017	17,8	3,1	14,9	2,9+	19,6
Среднее					11,2
4. 2015	14,5	2,8	14,1	0,4+	2,9
2016	11,0	2,9	13,6	-2,6+	20,1
2017	17,8	3,1	15,1	2,7+	17,7
Среднее					13,6

Прокопьевский район

1. 2015	19,9	3,7	17,8	2,1+	12,8
2016	18,4	3,7	19,9	-1,5+	9,4
2017	20,2	3,7	17,7	2,5+	13,2
Среднее					11,8
2. 2015	19,9	3,7	18,2	1,7+	10,6
2016	18,4	3,7	17,9	0,5+	2,8
2017	20,2	3,7	17,3	2,9+	14,8
Среднее					9,4
3. 2015	19,9	3,7	17,5	2,4+	14,9
2016	18,4	3,7	18,7	-0,3+	1,9
2017	20,2	3,7	19,0	1,2+	6,3
Среднее					7,7
4. 2015	19,9	3,7	18,2	1,7+	10,5
2016	18,4	3,7	19,1	-0,7+	4,5
2017	20,2	3,7	17,9	2,3+	11,9
Среднее					9,0

Новокузнецкий район

1. 2015	14,8	3,3	15,5	-0,7+	5,8
2016	15,1	3,2	14,2	0,9+	7,8
2017	11,8	3,1	13,8	-2,0+	15,2
Среднее					9,6
2. 2015	14,8	3,3	14,0	0,8+	6,6
2016	15,1	3,2	15,0	0,1+	0,5
2017	11,8	3,1	13,2	-1,4+	10,2
Среднее					5,8
3. 2015	14,8	3,3	15,6	-0,8+	6,5
2016	15,1	3,2	14,9	0,2+	1,3
2017	11,8	3,1	14,5	-2,7+	20,4
Среднее					9,4
4. 2015	14,8	3,3	13,7	1,1+	8,4
2016	15,1	3,2	13,8	1,3+	10,5
2017	11,8	3,1	13,0	-1,2+	9,3
Среднее					9,4

Таблица 4 – Результаты испытания инерционного и климатологического прогнозов урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области

Год	Фактическая урожайность, ц/га	Инерционный прогноз			Климатологический прогноз		
		Прогнозируемая урожайность, ц/га	Абсолютная ошибка, ц/га	Относительная ошибка, %	Прогнозируемая урожайность, /га	Абсолютная ошибка, ц/га	Относительная ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7	8

Мариинский район

2015	18,2	14,9	3,3-	22,3	14,4	3,8-	25,7
2016	18,3	18,2	0,1+	0,7	14,8	3,5-	23,6
2017	19,5	18,3	1,2+	7,1	14,8	4,7-	27,8
Среднее				10,0			25,7

Тяжинский район

2015	15,1	10,9	4,2-	33,3	12,8	2,3-	18,3
2016	15,1	15,1	0,0+	0,0	12,6	2,5-	20,3
2017	13,8	15,1	-1,3+	9,9	12,3	1,5+	11,5
Среднее				14,4			16,7

Тисульский район

2015	16,3	16,9	-0,6+	3,9	15,2	1,1+	7,1
2016	19,6	16,3	3,3-	21,0	15,5	4,1-	26,1
2017	16,0	19,6	-3,6-	22,5	15,7	0,3+	1,9
Среднее				15,8			11,7

Яшкинский район

2015	13,7	10,8	2,9-	25,9	11,2	2,5-	22,3
2016	13,5	13,7	-0,2+	1,8	11,2	2,3-	20,7
2017	20,4	13,5	6,9-	49,3	11,1	9,3-	66,4
Среднее				25,7			36,5

Яйский район

2015	13,9	11,6	2,3+	19,2	12,2	1,7+	14,2
2016	14,3	13,9	0,4+	3,4	12,0	2,3+	19,5
2017	14,8	14,3	0,5+	3,7	11,8	3,0-	22,4
Среднее				8,8			18,7

Ижморский район

2015	11,6	8,9	2,7+	32,5	8,2	3,4-	41,0
2016	10,6	11,6	-1,0+	11,6	8,3	2,3+	26,8
2017	11,9	10,6	1,3+	12,8	8,6	3,3-	32,4
Среднее				19,0			33,4

Чебулинский район

2015	15,5	12,3	3,2-	26,9	11,4	4,1-	34,5
2016	17,3	15,5	1,8+	14,4	11,9	5,4-	43,2
2017	18,7	17,3	1,4+	9,6	12,5	6,2-	42,5

Среднее				17,0			40,1
---------	--	--	--	------	--	--	------

Юргинский район							
2015	16,3	15,6	0,7+	5,4	13,4	2,9+	22,1
2016	14,7	16,3	-1,6+	12,3	13,1	1,6+	12,3
2017	16,4	14,7	1,7+	11,0	13,0	3,4-	21,9
Среднее				9,6			18,8

Топкинский район							
2015	18,2	18,6	-0,4+	2,6	15,4	2,8+	18,3
2016	17,3	18,2	-0,9+	5,9	15,3	2,0+	13,0
2017	18,5	17,3	1,2+	6,6	15,4	3,1+	17,1
Среднее				5,0			16,1

Кемеровский район							
2015	17,8	20,0	-2,2+	13,9	15,4	2,4+	15,2
2016	18,3	17,8	0,6+	3,8	15,5	2,8+	17,8
2017	19,5	18,3	1,2+	6,5	15,7	3,8-	20,7
Среднее				8,1			17,9

Крапивинский район							
2015	15,1	16,9	-1,8+	12,4	15,3	-0,2+	1,4
2016	15,5	15,1	0,4+	2,8	14,5	1,0+	7,0
2017	16,5	15,5	1,0+	6,2	14,2	2,3+	14,4
Среднее				7,1			7,6

Промышленный район							
2015	16,9	15,0	1,9+	14,4	13,6	3,3+	25,0
2016	14,3	16,9	-2,6+	20,8	13,2	1,1+	8,8
2017	18,1	14,3	3,8-	25,2	12,5	5,6-	37,1
Среднее				20,1			23,6

Ленинск-Кузнецкий район							
2015	16,5	15,8	0,7+	5,3	13,8	2,7+	20,5
2016	12,3	16,5	-4,2-	34,2	13,2	-0,9+	7,3
2017	18,6	12,3	6,3-	41,7	12,3	6,3-	41,7
Среднее				27,1			23,2

Гурьевский район							
2015	16,3	17,1	-0,8+	5,4	15,5	0,8+	5,4
2016	12,5	16,3	-3,8-	28,2	14,8	-2,3+	17,0
2017	23,0	12,5	10,5-	63,3	13,5	9,5-	57,2
Среднее				32,3			26,5

Беловский район							
2015	14,5	17,3	-2,8-	19,9	14,4	0,1+	0,7

2016	11,0	14,5	-3,5-	26,9	14,1	-3,1-	23,8
2017	17,8	11,0	6,8-	45,3	13,0	4,8-	32,0
Среднее				30,7			18,8

Прокопьевский район

2015	19,9	16,2	3,7-	23,0	15,8	4,1-	25,5
2016	18,4	19,9	-1,5+	9,2	16,1	2,3+	14,1
2017	20,2	18,4	1,8+	9,3	16,3	3,9-	20,2
Среднее				13,8			19,9

Новокузнецкий район

2015	14,8	12,0	2,8+	22,0	13,0	1,8+	14,2
2016	15,1	14,8	0,3+	2,5	12,7	2,4+	19,7
2017	11,8	15,1	-3,3-	24,8	12,2	-0,4+	3,0
Среднее				16,4			12,3

Таблица 5 - Средняя оправдываемость прогнозов за 2015-2017 годы по административным районам Кемеровской области (по величине относительной ошибки)

Район	Заблаговременность	№ модели	Методические	Инерционные	Климатологические
1	2	3	4	5	6
Мариинский	предварительный прогноз, 21-23 июня	1	97,6	90,0	74,3
		2	96,5	90,0	74,3
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	95,0	90,0	74,3
		4	95,8	90,0	74,3
Тяжинский	предварительный прогноз, 21-23 июня	1	94,2	85,6	83,3
		2	96,4	85,6	83,3
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	94,7	85,6	83,3
		4	94,6	85,6	83,3
Тисульский	предварительный прогноз, 21-23 июня	1	92,2	84,2	88,3
		2	90,3	84,2	88,3
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	89,6	84,2	88,3
		4	91,5	84,2	88,3
Яшкинский	предваритель-	1	86,3	74,3	63,5

	ный прогноз, 21-23 июня	2	87,8	74,3	63,5
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	88,7	74,3	63,5
		4	90,0	74,3	63,5
Яйский	предваритель- ный прогноз, 21-23 июня	1	91,3	91,2	81,3
		2	89,1	91,2	81,3
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	85,6	91,2	81,3
		4	88,4	91,2	81,3
Ижморский	предваритель- ный прогноз, 21-23 июня	1	91,3	81,0	66,6
		2	90,7	81,0	66,6
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	91,3	81,0	66,6
		4	87,7	81,0	66,6
Чебулинский	предваритель- ный прогноз, 21-23 июня	1	94,0	83,0	59,9
		2	83,7	83,0	59,9
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	92,7	83,0	59,9
		4	82,8	83,0	59,9
Юргинский	предваритель- ный прогноз, 21-23 июня	1	90,4	90,4	81,2
		2	91,6	90,4	81,2
	уточненный прогноз, 21-2 июля	3	92,9	90,4	81,2
		4	93,3	90,4	81,2
Топкинский	предваритель- ный прогноз, 21-23 июня	1	95,6	95,0	83,9
		2	96,0	95,0	83,9
	уточненный прогноз, 21-2 июля	3	91,9	95,0	83,9
		4	92,7	95,0	83,9
Кемеровский	предваритель- ный прогноз, 21-23 июня	1	91,8	91,9	82,1
		2	88,3	91,9	82,1
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	91,7	91,9	82,1
		4	91,4	91,9	82,1
Крапивинский	предваритель- ный прогноз, 21-23 июня	1	95,4	92,9	92,4
		2	94,5	92,9	92,4
	уточненный прогноз, 21-2 июля	3	97,6	92,9	92,4
		4	97,4	92,9	92,4
Промышленный	предваритель- ный прогноз, 21-23 июня	1	89,8	79,9	76,4
		2	90,2	79,9	76,4

	уточненный прогноз, 21-23июля	3	88,4	79,9	76,4
		4	87,4	79,9	76,4
Ленинск-Кузнецкий	предварительный прогноз, 21-23 июня	1	83,0	72,9	76,8
		2	86,0	72,9	76,8
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	84,9	72,9	76,8
		4	81,0	72,9	76,8
Гурьевский	предварительный прогноз, 21-23 июня	1	84,5	67,7	73,5
		2	86,1	67,7	73,5
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	83,9	67,7	73,5
		4	85,7	67,7	73,5
Беловский	предварительный прогноз, 21-23 июня	1	86,3	69,3	81,2
		2	86,1	69,3	81,2
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	88,9	69,3	81,2
		4	86,4	69,3	81,2
Прокопьевский	предварительный прогноз, 21-23 июня	1	88,2	86,2	80,1
		2	90,6	86,2	80,1
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	92,3	86,2	80,1
		4	91,0	86,2	80,1
Новокузнецкий	предварительный прогноз, 21-23 июня	1	90,4	83,6	87,3
		2	94,2	83,6	87,3
	уточненный прогноз, 21-23 июля	3	90,6	83,6	87,3
		4	90,6	83,6	87,3

Таким образом, представленные модели за период авторских испытаний обеспечены хорошими результатами. Оправдываемость методических прогнозов выше оправдываемости климатологических и инерционных прогнозов, а средние ошибки методических прогнозов ниже ошибок инерционных и климатологических прогнозов.

На основании этого можно сделать заключение, что разработанный нами метод прогноза урожайности яровой пшеницы имеет явные преимущества и может быть рекомендован для производственного испытания в прогностическом подразделении ФГБУ «Кемеровский ЦГМС» ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

4 Методы прогнозирования урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области с использованием наземной и спутниковой информации

В работе разработаны модели прогноза урожайности яровой пшеницы для административных районов Кемеровской области. Сложная орография,

резко континентальный климат, относительно малые пространственные и временные масштабы погодных явлений в конечном итоге влияют на точность прогностических моделей, использующих только стандартные приземные метеоданные. Дополнительная информация в виде данных дистанционного зондирования атмосферы в статистических моделях прогноза урожайности для регионов Сибири улучшает качество прогнозов [6].

Прогноз, предоставленный администрациям районов в оперативные сроки, принятые в Росгидромете, предварительный (21-23 июня) и уточнённый (21-23 июля) помогает уменьшить экономические потери, связанные с рисками природного характера.

В [7] дается краткий обзор теоретических и прикладных разработок этого направления, проводимых в Институте космических исследований РАН. Методом поиска аналогов временного хода вегетационных индексов разработаны автоматизированные мониторинг и анализ состояния посевов в любом регионе России, оперативная и объективная оценка последствий воздействия на посевы различных факторов. В работе описана технология построения для любого административного района карт отклонений вегетационного индекса от среднегодовых значений. Графики временной изменчивости значений индекса можно строить в указанных точках земной поверхности. Мониторинг состояния посевов дается для субъектов РФ.

В [8] вегетационный индекс используется вместе со стандартными данными агрометеорологических наблюдений для построения регрессионных моделей и делается ежедекадный расчет урожайности озимых культур по территории субъектов Северо-Кавказского, Приволжского и Центрально-Черноземного регионов. По оценке авторов ошибка прогноза не превышала 10 %, что даёт возможность использовать данную технологию в оперативном обеспечении сельского хозяйства УГМС Росгидромета.

В работе [9] авторы заменили в своей динамической модели прогноза урожайности рассчитанную относительную площадь листьев посевов на значения измеренного вегетационного индекса NDVI, получив усовершенствованную модель, с помощью которой сделали следующие выводы: величина NDVI достаточно адекватно отражает ход фотосинтеза всех сельскохозяйственных культур; использование NDVI в блоке расчета фотосинтеза в действующей модели прогнозирования урожайности яровой пшеницы дало положительные результаты; замена теоретической кривой сезонного хода фотосинтеза на измеренные значения вегетационного индекса, привела к повышению оправдываемости в годы с экстремальными условиями. Полученные результаты дают основание утверждать, что вегетационный индекс NDVI может быть использован как во вновь создаваемых динамических моделях прогнозирования урожайности, так и в действующих моделях для их усовершенствования.

В качестве примера использования вегетационного индекса NDVI в ЕС можно привести материалы регулярного бюллетеня [10], издающегося по проекту Европейской комиссии MARS (Monitoring Agricultural ResourceS), в котором регулярно публикуются точные и своевременные прогнозы ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур по территории Союза и других стратегических регионов мира. Технология системы AGRI4CAST, оперативно работающая с 1992 года, в состоянии контролировать весь вегетационный период таких культур как, зерновые, масличные, белковые, сахарной свеклы, картофеля, рис, пастбища, способна реагировать на эффекты краткосрочного метеорологического воздействия. Эффективность системы обеспечивают данные дистанционного зондирования и метеорологических наблюдений, агрометеорологическое моделирование и статистический анализ.

4.1 Описание данных

Появление новых модулей спутникового зондирования поверхности земли с возможностью измерять и обрабатывать различные участки спектра привело к новым показателям вегетационного периода роста растений. К ним относится нормализованный относительный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), показатель количества активной биомассы и самый распространенный среди подобных ему индексов. Он используется в различных работах, связанных с дистанционным зондированием поверхности земли и растительного покрова. Накопленная в Институте космических исследований РАН по всей территории России информация по этому индексу с реальной регулярностью 3-4 раза в неделю и разрешением 250 м архивирована с 2000г., дала начало новому направлению исследований.

Модели включают данные Западно-Сибирского УГМС стандартных наблюдений (осадки, температуру и дефицит насыщения воздуха) и спутниковые данные дистанционного зондирования (вегетационный индекс NDVI). Данные по урожайности взяты из статистических сборников региона. Данные $NDVI = (nir - red) / (nir + red)$, где nir - отражение в ближней инфракрасной области спектра (диапазон волн 0,7-1,0 мкм), red - отражение в красной области спектра (диапазон волн 0,6-0,7 мкм) из архива ИКИ РАН. Спектральные каналы выбирались из условия наименьшего отражения растительности в красном диапазоне спектра и, наоборот, самое высокое отражение по сравнению с другими природными объектами в ближнем ИК-диапазоне спектра. Падение спектральной кривой в красном диапазоне и резкий подъем в ближнем ИК-диапазоне характерно для растительности в хорошем состоянии. Фотосинтез высших растений приводит к максимуму отражения листьями в инфракрасной области и к максимальному поглощению хлорофиллом солнечной радиации в красной области спектра. Фазы вегетации яровых зерновых культур влияют на величину вегетационного индекса.

При построении моделей прогноза урожайности фазы вегетации определяют выбор агрометеорологических параметров и интервалов их временного суммирования. Параметры регрессионных моделей находились с помощью метода наименьших квадратов, среда программирования MATLAB. Как и в [11] оценка значимости коэффициента корреляции для парных моделей и в многомерном случае проводилась с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение $t_R^{\hat{c}}$ которого, рассчитывались по формулам и сравнивались с $t_{кр}(\alpha; \nu)$ из таблицы, где уровень значимости α принимался равным 5%, а число степеней свободы $\nu = N - m - 1$, где $N = 12$ длина выборки, m число независимых переменных.

При оценке качества полученных моделей проверялось выполнение следующих условий:

1) Близость коэффициента детерминации r^2 к значению 0.70, показывающую какой процент дисперсии исходного ряда урожайности $y = \{y_1, \dots, y_N\}$ описывает модель.

2) По критерию Стьюдента проверялась значимость коэффициентов регрессии. Критическое значение $t_{кр}(\alpha, \nu)$ определяется по уровню значимости α (принималось равным 5%) и числу степеней свободы $\nu = N - 2$, где N - длина ряда.

3) Адекватность регрессионной модели исходным данным проверялась с помощью критерия Фишера F .

4) Неравенство $\sigma_y > \sigma_\varepsilon$, где σ_ε - стандартное отклонение ошибок, σ_y - стандартное отклонение исходного ряда. Авторские испытания моделей проводились в соответствии с [9] на двухлетней контрольной выборке. По результатам этих проверок принималось решение о передаче построенных моделей на производственные испытания.

4.2 Построение и оценка моделей

При построении моделей для каждого района в качестве независимых параметров подбирались агрометеорологические данные с разными интервалами осреднения, температура (временной интервал I - 20VII, коэффициент корреляции $r=-0,65$) и дефицит насыщения воздуха (временной интервал 21.VI - 20.VII, коэффициент корреляции $r = -0,75$). К ним добавлялись осадки (временной интервал I - 20VII, коэффициент корреляции $r=0,78$) и данные по вегетационному индексу $ndvi$.

Коэффициент детерминации однофакторных моделей (приземные данные в качестве независимых признаков) не превышает 0.57, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность этих моделей подтверждает величина критерия Фишера $F \approx 20$, что больше $F_{кр} \approx 5$ и его уровень значимости $0.01 < 0.05$.

Двухпараметрические модели, в которых в качестве независимых переменных используются осадки и дефицит

$$y = 0.12 x_2 - 0.15 x_3 + 9.5$$

улучшают качество модели. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($10 = F > F_{кр} = 3.7$) и его уровень значимости 0.005 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. Но коэффициент детерминации модели равен 0.6, что ниже требуемой границы 0.70 и указывает по-прежнему на недостаточность числа независимых переменных.

Замена независимой переменной осадки на $ndvi$ улучшает показатели модели для данного района и приближает среднюю относительную ошибку

оправдавшихся прогнозов к плановым $\dot{P} = 5-10 \%$. Приведем пример двухпараметрической регрессионной модели (предварительный прогноз 21-23 июня) зависимости урожайности яровой пшеницы от значений вегетационного индекса NDVI на 23 неделе от начала года и среднесуточного дефицита влажности воздуха за май по Тяжинскому району Кемеровской области (рисунок 4).

В моделях с тремя независимыми переменными (температура, осадки, дефицит) как сами агрометеорологические параметры так и интервалы их осреднения варьировались для разных районов области. Приведем параметры модели трех параметров температуры, дефицита и ndvi

$$y = -0.57 x_2 + 0.2x_3 + 19.4 x_4 - 9.5.$$

Коэффициент детерминации 0.85 лучше нормы 0.7. Статистическую значимость построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($21.1 = F > F_{кр} = 4.2$) и уровень значимости в рассчитываемой статистике Фишера равен 0.0002. Проверка на двухлетней контрольной выборке (2013, 2014 годы) дает следующий результат

$$| y_i^f - y_i^c | = |8.3 - 7.5| = 0.8 < 0.67\sigma = 0.67*3.2 = 2.0$$

$$| y_i^f - y_i^c | = |14.98 - 16.2| = 1.22 < 0.67\sigma = 0.67*3.4 = 2.2.$$

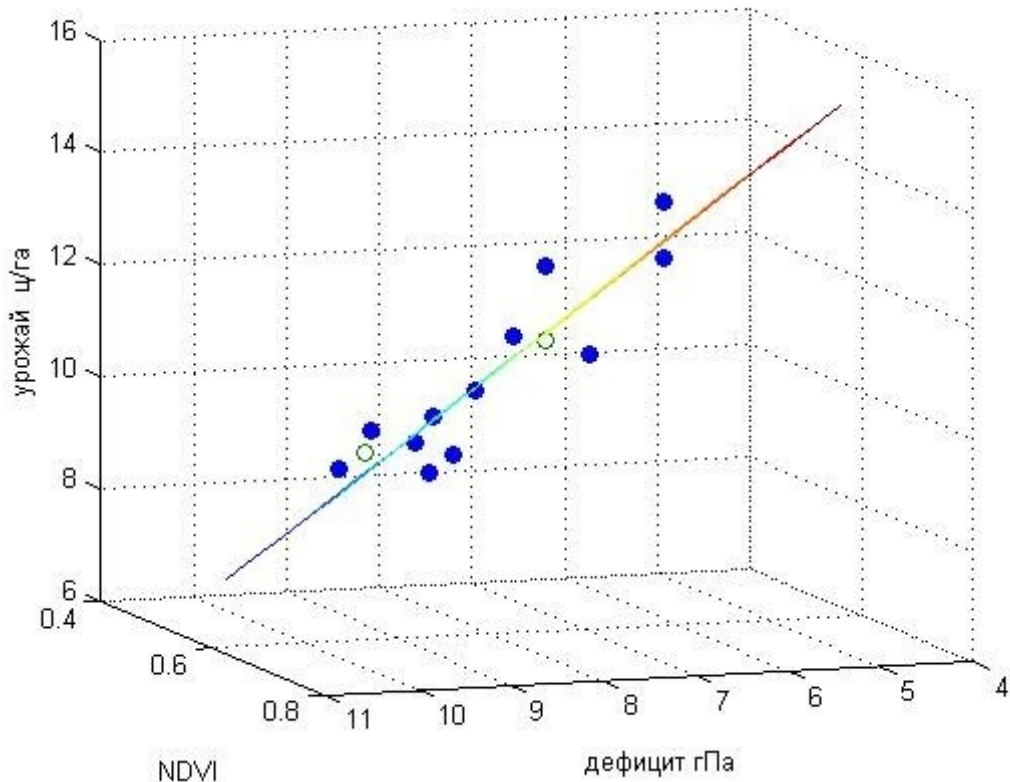


Рисунок 4 - Двухпараметрическая регрессионная модель (предварительный прогноз 1-5 июня) зависимости урожайности зерновых от значений вегетационного индекса NDVI на 23 неделе от начала года и среднесуточного дефицита водяного пара влажного воздуха за май. Окружности и синие шарики соответственно контрольная и обучающая выборки за 2002-2015 годы. Тяжинский район Кемеровской области

Прогноз $\{ y_i^f, x_i \}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $| y_i^f - y_i^c |$ с контрольной выборкой $\{ y_i^c, x_i \}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев. Тогда оправдываемость метода γ [7] для двух контрольных годов равна 100 %, а средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов $\bar{P} = 6.1 \%$.

Включение в модели прогноза урожайности яровой пшеницы спутниковых данных ndvi улучшает качество моделей и среднюю относительную ошибку на контрольной выборке до 5-10 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системе оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства значительная роль отводится агрометеорологическим

прогнозам урожайности яровой пшеницы. В связи с большой зависимостью урожайности сельскохозяйственных культур от условий погоды и значительных колебаний валового сбора в Кемеровской области разработана современная технология, позволяющая заблаговременно прогнозировать урожайность и валовой сбор яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области с использованием наземной и спутниковой информации.

Сравнительная оценка успешности испытываемого метода прогноза урожайности яровой пшеницы по районам Кемеровской области в оба срока составления (21-23 июня и 21-23 июля) на основании РД и согласно утвержденной программы испытаний проводилась с инерционными и климатологическими прогнозами, поскольку в настоящее время в оперативной практике отдела расчетный метод прогноза районной урожайности яровой пшеницы отсутствует.

За период авторских испытаний (2015-2017 годы) было проверено по 2 физико-статистические модели на два срока: 21-23 июня и 21-23 июля. Средняя оправдываемость методического прогноза урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области (по величине относительной ошибки) на срок 21-23 июня и 21-23 июля составила около и выше 90 %, что значительно выше порога успешности агрометеорологических прогнозов. Средняя оправдываемость инерционного и климатологического прогнозов значительно ниже методических и в некоторые годы достигают 70,0 %.

Оценка оправдываемости составленных прогнозов по новому методу по величине допустимой погрешности ($\Delta\sigma$) позволила выявить число оправдавшихся методических, инерционных и климатологических прогнозов. По 16 административным районам все методические прогнозы оправдались. Оправдываемость метода составила 100 %, что на 17-67 % выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов. Не оправдался только один прогноз по Яшкинскому району в 2017 году,

урожайность яровой пшеницы составила 20,4 ц/га - максимальная за все периоды наблюдений.

К достоинствам нового метода следует отнести то, что он позволяет прогнозировать урожайность яровой пшеницы в амбарном весе. Кроме того, для выполнения расчетов была создана и запущена полностью автоматизированная технология составления прогнозов и расчетов оценок, включая выборку данных из базы данных АСОАМИ и электронной версии ТСХ-1 в Кемеровском ЦГМС.

Для выполнения расчетов предлагается использовать разработанную технологию, включающую пакет программ для персонального компьютера и материалы информационного обеспечения: программу расчета прогноза урожайности и валового сбора яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области и программу оценки прогнозов.

Таким образом, представленные модели за период авторских испытаний обеспечены хорошими результатами. Оправдываемость методических прогнозов выше оправдываемости климатологических и инерционных прогнозов, а средние ошибки методических прогнозов ниже ошибок инерционных и климатологических прогнозов.

На основании этого можно сделать заключение, что разработанный нами метод прогноза урожайности яровой пшеницы имеет явные преимущества и может быть рекомендован для производственного испытания в прогностическом подразделении ФГБУ «Кемеровский ЦГМС» ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

По Кемеровской области методы прогнозов урожайности яровой пшеницы разработаны с использованием наземной и первый опыт применения наземной и спутниковой информации.

Для прогноза урожайности яровой пшеницы разработана еще одна группа моделей в параметры, которых помимо традиционных метеорологических данных включается вегетационный индекс NDVI ((Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный

индекс растительности, показатель количества активной биомассы и самый распространенный среди подобных ему индексов, получаемый дистанционным зондированием поверхности земли и растительного покрова. Данные по этому индексу, получаемые с реальной регулярностью 3-4 раза в неделю и разрешением 250 м (размеры одного пикселя), накоплены и архивированы с 2000 года. Они позволяют строить модели регрессионного типа со средней относительной ошибкой до 15,0 %.

Таким образом, новые модели и технологии с применением персональных компьютеров обеспечивают повышение точности, устойчивости и оперативности получения результатов прогноза; способствуют улучшению качества обслуживания агрометеорологической информацией и повышению эффективности агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Уланова Е.С. Методы агрометеорологических прогнозов.- Л.- Гидрометеоиздат, 1959. - 280 с.

2 Костюков В.В., Костюкова Н.И., Старостина Т.В. Динамика урожайности яровой пшеницы на территории юго-востока Западной Сибири во второй половине XX века // Материалы XXXIII междунар. Конф. IT+SE06, майская сессия. – Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, май 2006 г. – С.299-300.

3 Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР: Азиатская часть.- М.: Мысль, 1978.- 492 с.

4 Схема административных районов Кемеровской области: [Электронный ресурс] : <http://www.SibEstate.ru>.

5 Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91.- М.:Гидрометеоиздат,1991.- С.98-107.

6 Кононенко С.М., Старостина Т.В. Спутниковые данные в прогнозе урожайности пшеницы для административных районов Сибири // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018. XIV Междунар. науч. конгр., 23-27 апреля 2018 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Т.1. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018.- С. 94-101.

7 Савин И.Ю., Лупян Е.А., Барталев С.А. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России // Геоматика.- 2011.- Вып.2.- С.69-76.

8 Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Оценка пространственно-временного распределения урожайности зерновых культур и стандартизованного индекса осадков (SPI) по спутниковой и наземной информации Тру-ды ГГО – СПб.: ООО «Д'АРТ», 2014. – Вып. 571. – С. 147 – 161.

9 Клещенко А.Д., Лебедева В.М., Найдина Т.А., Савицкая О.В. Использование спутниковой информации Modis в оперативной агрометеорологии, Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. – Т.12. – С. 143 – 154.

10 SPOT Vegetation satellite analysis: MARS Bulletin, 2011.- Vol.19.- No. 22 (Web Version).

11 Кононенко С.М., Старостина Т.В. Совместное использование спутниковой и наземной метеорологической информации для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр., 17–21 апреля 2017 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Т.2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017.- С. 28-33.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Программы расчета прогнозов урожайности и валового сбора яровой пшеницы в электронном виде для персонального компьютера

Приложение Б

Технология расчета прогнозов урожайности и валового сбора яровой пшеницы на персональном компьютере

Программа предназначена для автоматизация расчета прогнозов урожайности яровой пшеницы по административным районам на 21-23 июня (предварительный прогноз) и 21-23 июля (уточненный прогноз).

1. Запуск программы:

1.1 Скопируйте файл <3-боб_ячм_овес-Омск.xls> на компьютер.

1.2 Создайте на экране и запустите ярлык < 3-боб_ячм_овес-Омск.xls >.

1.3 Или откройте файл 3-боб_ячм_овес-Омск.xls.

2. Перейдите на лист <Ввод данных>.

На данном листе находятся 2 таблицы для ввода исходных данных:

2.1 Для расчета прогнозов урожайности, введите год составления прогноза и данные о сумме осадков, средней температуре воздуха по декадам и среднесуточном дефиците насыщения воздуха (гПа).

2.2 Для расчета оценок прогнозов урожайности, введите фактическую урожайность и площадь посева (для расчета валового сбора) для зерновых и зернобобовых культур по районам Омской области. При вводе данных желтым цветом подсвечиваются предыдущие 5 лет для расчета оценок.

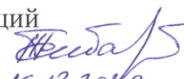
Как только ввели данные и год, сразу же автоматически рассчитаются все таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ


Введение.....	3
1 Методические аспекты и обоснование структуры модели.....	5
2 Основы метода прогноза урожайности яровой пшеницы в	

Кемеровской области.....	7
2.1 Природные условия Кемеровской области.....	9
3 Методы прогнозов урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области с использованием наземной информации.....	15
3.1 Результаты авторских испытаний.....	26
4 Методы прогнозирования урожайности яровой пшеницы по административным районам Кемеровской области с использованием наземной и спутниковой информации.....	43
4.1 Описание данных.....	45
4.2 Построение и оценка моделей.....	47
Заключение.....	50
Список использованных источников.....	53
Приложение А Программы расчета прогнозов урожайности и валового сбора яровой пшеницы в электронном виде для персонального компьютера.....	55
Приложение Б Технология расчета прогнозов урожайности и валового сбора яровой пшеницы на персональном компьютере.....	55

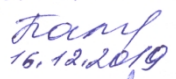
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Отв. исполнитель темы, ведущий
научный сотрудник, к.с.-х.н. 
16.12.2019 Т.В. Старостина (введение,
раздел 1-3, заключение)

Исполнители темы

Старший научный сотрудник,
к.ф.-м.н. 
16.12.2019 С.М. Кононенко (раздел 4)

Младший научный сотрудник 
16.12.2019 О.И. Пищимко (раздел 3)

Ведущий инженер 
16.12.2019 Т.М. Пахомова
(автоматизация методов)

Нормоконтроль 
17.12.2019 Т.П. Панькова