

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ
МЕТОДА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ
И ВАЛОВОГО СБОРА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ
ПО ФЕДЕРАЛЬНЫМ ОКРУГАМ И РОССИИ В ЦЕЛОМ**

*¹Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной
метеорологии, г. Обнинск;*

²Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, г. Москва

В ФГБУ «ВНИИСХМ» в 2017–2019 гг. на основе синоптико-статистического подхода был разработан метод долгосрочного прогноза урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур в целом. Прогноз составляется в марте с заблаговременностью около 6 месяцев.

Специфика задачи разработки методов прогноза урожайности яровых зерновых культур до сева состоит в том, что для ее решения нельзя воспользоваться информацией, обычно используемой для составления агрометеорологических прогнозов. В прогнозах, составляемых в период вегетации, используются данные, характеризующие состояние посевов к моменту составления прогноза (высота, густота посевов, биомасса и т. д.) и погодные условия (значения температуры воздуха, сумм осадков за период с начала вегетации до даты составления прогноза). При составлении прогноза до сева указанные данные отсутствуют, поэтому в них учитываются особенности циркуляции атмосферы, складывающиеся в конкретном году. Возможность составления таких прогнозов обусловлена наличием связей между особенностями циркуляции атмосферы в период, предшествующий вегетации, и урожайностью зерновых культур. Существование таких связей подтверждено целым рядом численных экспериментов [9, 10].

Исследования особенностей циркуляции атмосферы в годы с экстремальными урожаями культур (а значит, и с различным гидротермическим режимом) в отдельных регионах Северного полушария показали, что атмосферные процессы сезонов связаны между собой и можно выделить признаки аномального развития атмосферных процессов

весенне-летнего периода по результатам анализа условий циркуляции атмосферы осенне-зимнего сезона [11, 12].

Использование указанного подхода в методиках прогноза урожайности сельскохозяйственных культур позволяет увеличить их заблаговременность до 4–7 месяцев (прогноз составляется в феврале-марте) [3–7].

Долгосрочные агрометеорологические прогнозы могут быть использованы органами сельскохозяйственного управления при планировании и принятии многих оперативно-хозяйственных решений в процессе сельскохозяйственного производства.

В методе долгосрочного прогноза урожайности и валового сбора ярового ячменя по пяти федеральным округам и России в целом в качестве предикторов были использованы показатели циркуляции атмосферы в пределах всего Северного полушария и значения температуры поверхности Тихого и Атлантического океанов за осенне-зимний период, предшествующий периоду вегетации.

По данным Росстата за 2014–2018 гг., 96,7 % посевных площадей, занятых яровым ячменем, расположены в пяти федеральных округах (ФО) Российской Федерации (Центральный ФО – 25,1 %, Южный ФО – 10,7 %, Приволжский ФО – 37,1 %, Уральский ФО – 9,1 %, Сибирский ФО – 14,7 %), поэтому прогноз ожидаемой урожайности составляется для пяти федеральных округов.

В данном методе прогноза предиктантом является отклонение урожайности ярового ячменя от тренда по федеральному округу или по группе субъектов РФ, определяющих валовой сбор ярового ячменя в том или ином федеральном округе.

Временные ряды урожайности ярового ячменя рассматриваются как сумма двух слагаемых – детерминированной составляющей и случайных отклонений от нее (1):

$$Y_t = f_t + \omega_t, \quad (1)$$

где Y_t – временной ряд урожайности; f_t – некоторая неслучайная функция времени (тренд); ω_t – случайная составляющая временного ряда.

Для ярового ячменя по каждому федеральному округу (или группе субъектов РФ) на прогнозируемый год рассчитывается прогностическое значение трендовой составляющей с помощью статистических приемов (метод гармонических весов, прямая линия) [2, 13].

Метеорологическая составляющая урожайности в каждом году представлена в отклонениях от тренда:

$$\Delta Y_i = (Y_i - \hat{Y}_i) / \hat{Y}_i, \quad (2)$$

где ΔY_i – метеорологическая составляющая урожайности; Y_i – фактическое значение урожайности в i -м году; \hat{Y}_i – трендовая составляющая урожайности.

В табл. 1 приведен перечень субъектов РФ, в которых значения урожайности ярового ячменя используются в расчетах по Центральному и Приволжскому федеральным округам. В графе 4 приведены сведения данных Росстата в среднем за 2014–2018 годы. Прогнозируемая урожайность в целом по указанным округам рассчитывается по уравнению регрессии.

По остальным федеральным округам (Южному, Уральскому и Сибирскому) в расчетах используются значения урожайности в целом по федеральному округу. Ожидаемая урожайность ярового ячменя по Российской Федерации рассчитывается по уравнению регрессии на основании расчетов ожидаемой урожайности по пяти федеральным округам.

Таблица 1

Список субъектов РФ, по которым статистические данные по урожайности ярового ячменя используются для расчета прогнозируемой урожайности ячменя по Центральному и Приволжскому федеральным округам

Федеральный округ	Количество субъектов в ФО	Субъекты РФ, по которым статистические данные по урожайности используются для расчета	Валовой сбор в субъектах по отношению к валовому сбору в целом по ФО, %
Центральный	17	Белгородская обл., Воронежская обл., Курская обл., Липецкая обл., Орловская обл., Рязанская обл., Тамбовская обл., Тульская обл.	94,3
Приволжский	14	I. Республика Башкортостан Республика Татарстан	34,9
		II. Оренбургская обл. Самарская обл., Саратовская обл.	26,3
		III. Нижегородская обл., Пензенская обл., Республика Мордовия	18,9

Потенциальными предикторами для расчета ожидаемой урожайности ярового ячменя по группам субъектов РФ или по федеральным округам Российской Федерации были использованы средние месячные значения следующих параметров:

- геопотенциала на уровне 500 гПа в узлах регулярной десятиградусной сетки в пределах Северного полушария с октября по февраль;
- температуры поверхности воды Тихого океана с октября по февраль в узлах регулярной десятиградусной сетки;
- температуры поверхности воды Атлантического океана с сентября по февраль в узлах регулярной десятиградусной сетки;
- широты планетарной высотной зоны в феврале.

В качестве математического аппарата для построения уравнений и расчета прогностических отклонений урожайности ярового ячменя от тренда применяется метод разложения случайных полей по естественным ортогональным составляющим, корреляционный и регрессионный анализы [2, 8].

Прогноз составляется в первой декаде марта, после поступления оперативных данных об используемых предикторах за декабрь прогнозируемого года и фактических данных Федеральной службы государственной статистики об урожайности и валовом сборе ярового ячменя за предшествующий прогнозу год.

Блок-схема метода прогноза урожайности и валового сбора ярового ячменя по федеральным округам представлена на рис. 1.

В табл. 2 приведены предикторы (параметр и месяц осенне-зимнего периода), отобранные для расчета ожидаемой урожайности ярового ячменя по федеральным округам РФ.

Полученные уравнения для расчета ожидаемой урожайности ярового ячменя проходили проверку на статистическую значимость [2]: значимость уравнения множественной регрессии в целом оценена с помощью F-критерия Фишера, статистическая значимость каждого из факторов в уравнении оценена с помощью t-критерия Стьюдента.

Ежегодно уравнения регрессии уточняются с учетом вновь поступившей информации.

Для расчета валового сбора ячменя в прогнозах, из-за отсутствия данных о посевных площадях текущего года к моменту составления прогноза, используются данные о посевных площадях ярового ячменя за предшествующий год.

На рис. 2, для примера, показаны области, в которых значения геопотенциала на уровне 500 гПа и температура поверхности воды океанов используются в расчетах.

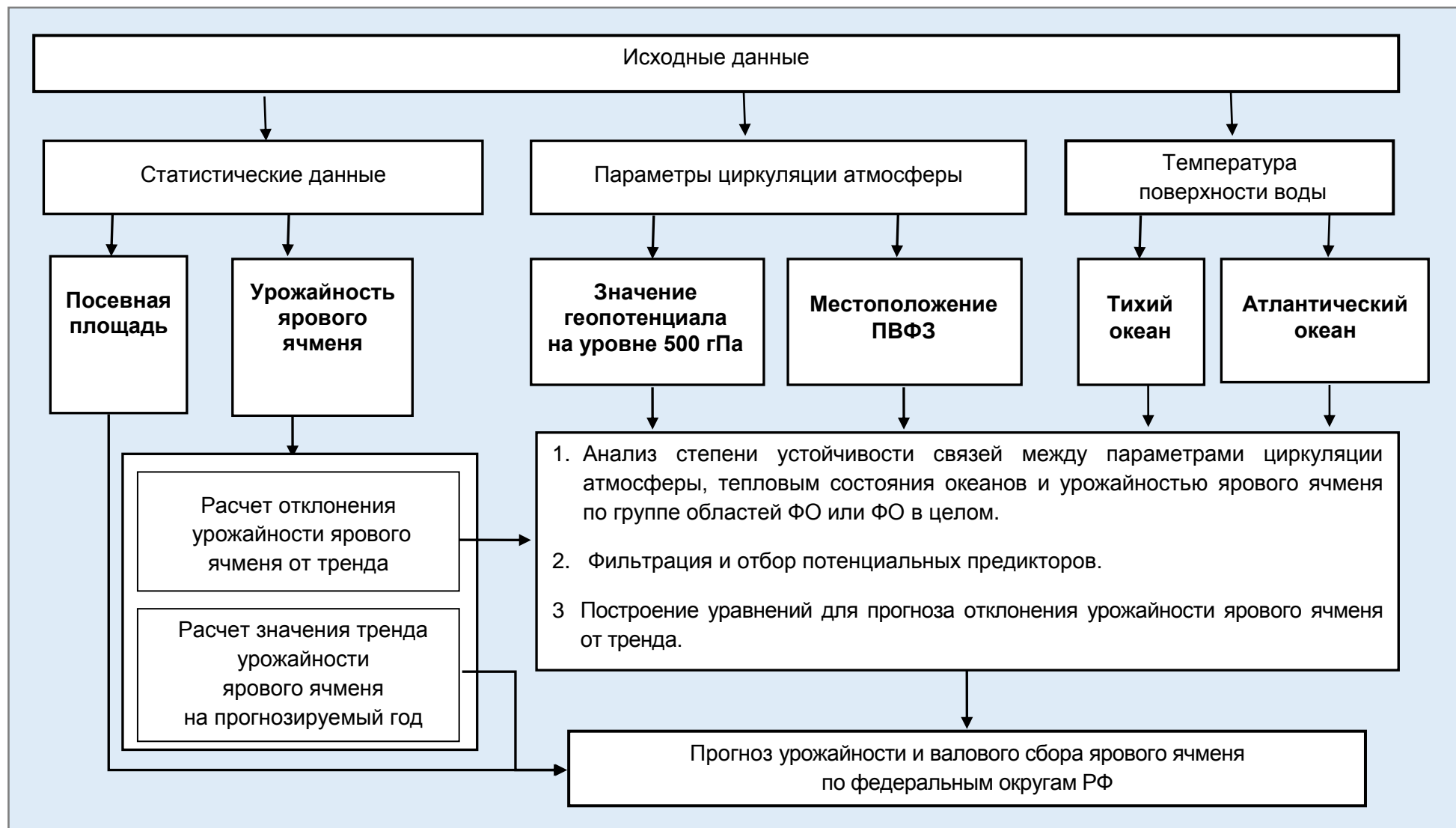


Рис. 1. Блок-схема метода долгосрочного прогноза урожайности ярового ячменя по группе субъектов или федеральному округу РФ.

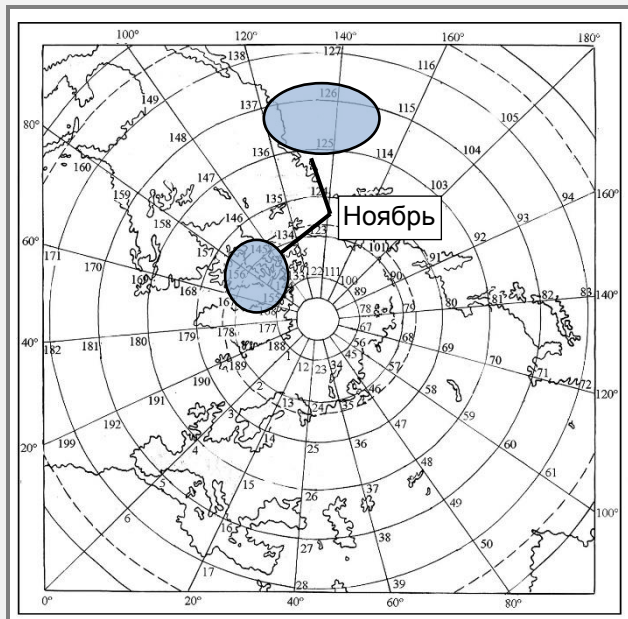
Предикторы (параметр и месяц осенне-зимнего периода), отобранные для расчета ожидаемой урожайности ярового ячменя по федеральным округам или группам субъектов РФ

Федеральный округ, группа субъектов	Средняя месячная температура поверхности воды Атлантического океана						Средняя месячная температура поверхности воды Тихого океана					Средние месячные значения геопотенциала на уровне 500 гПа					Широта высотной фронтальной зоны		
	Месяц, предшествующий периоду вегетации IX (сентябрь–февраль)																		
	IX	X	XI	XII	I	II	X	XI	XII	I	II	X	XI	XII	I	II		II	
Центральный			+					+					++						
Южный			+					+					+	+		+			
Приволжский																			
1 группа субъектов					+			+						+			+		
2 группа субъектов						+					+			+	+				
3 группа субъектов			+									+	+			+			
Уральский					+							++	+			+			
Сибирский	+	+										+	+						

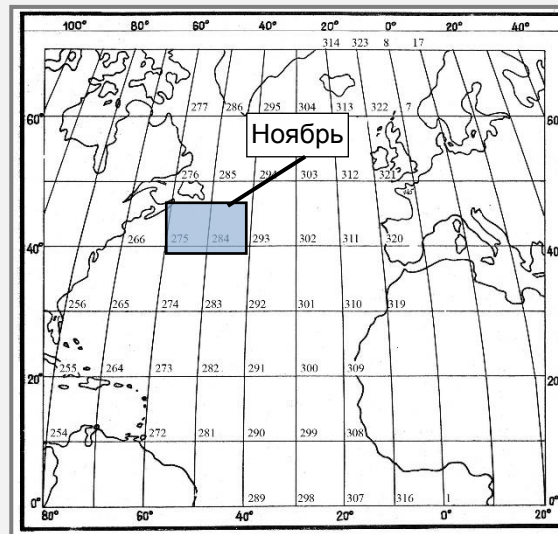
Примечание: два знака + обозначают, что в качестве предикторов используются значения параметров в двух областях.

Центральный федеральный округ

Значения геопотенциала
на уровне 500 гПа



Значения температуры
поверхности воды
Атлантического океана



Значения температуры
поверхности воды
Тихого океана

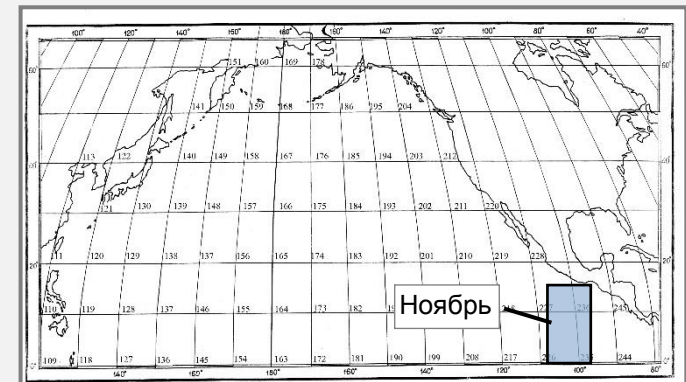


Рис. 2. Предикторы, отобранные для прогноза урожайности ярового ячменя по восьми субъектам Центрального федерального округа.

Технология составления прогноза

Программное обеспечение методики прогноза реализовано в среде Windows. При разработке методики составления прогноза использовались следующие программные продукты: – Borland Builder C++ 5.0 – как среда разработки программного комплекса; – Visual Fortran – на языке Фортран реализованы все прогностические программы.

Для расчета урожайности и валового сбора ярового ячменя по федеральным округам и России в целом разработан автоматизированный прогностический комплекс (рис. 3).

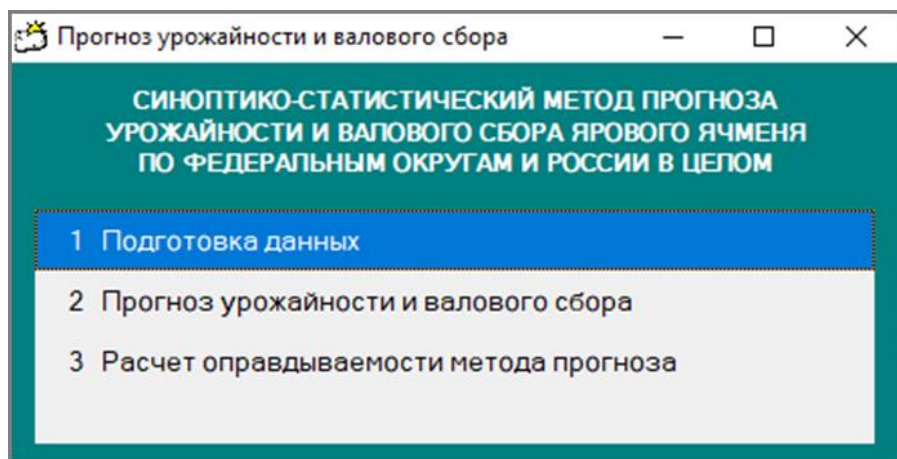


Рис. 3. Основное меню программного комплекса.

Расчет прогноза ярового ячменя проводится в три этапа.

1. В пункте меню «Подготовка данных» подготавливаются исходные данные для проведения расчетов: архив исходных данных пополняется вновь поступившими данными за предшествующий год (рис. 4):

- значения геопотенциала на уровне 500 гПа;
- значения температуры поверхности воды океанов;
- статистические данные.

2. В меню «Прогноз урожайности и валового сбора» рассчитываются прогностические значения урожайности и валового сбора ярового ячменя по федеральным округам и России в целом (рис. 5).

3. В меню «Расчет оправдываемости метода прогноза» рассчитывается оправдываемость метода долгосрочного прогноза валового сбора ярового ячменя по федеральным округам и России в целом. Расчет проводится по мере поступления фактических данных об урожайности и валовом сборе ярового ячменя на прогнозируемый год (рис. 6). Результаты расчетов автоматически заносятся в папку «Результаты прошлых лет».

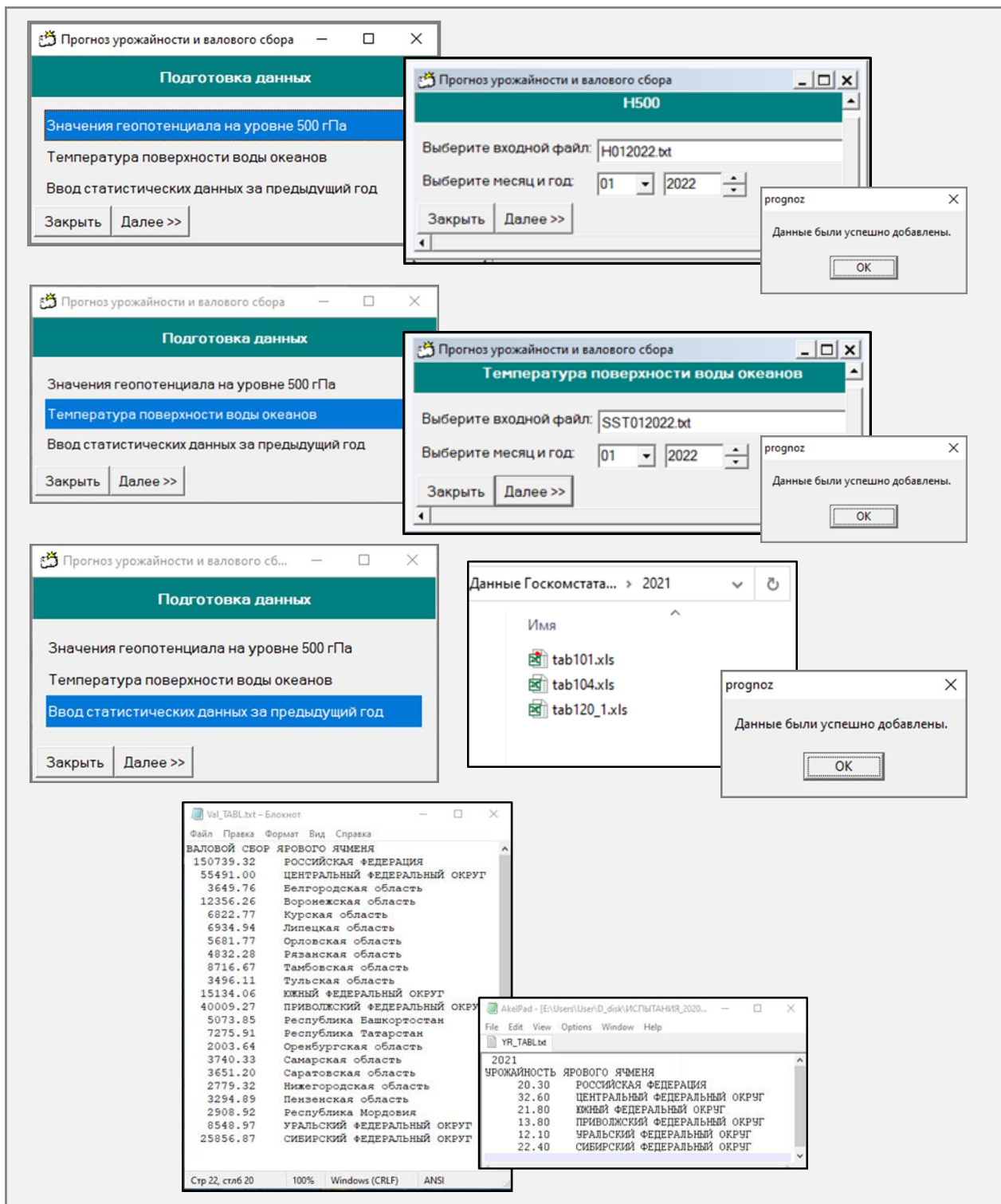


Рис. 4. Подпункты меню «Подготовка данных».

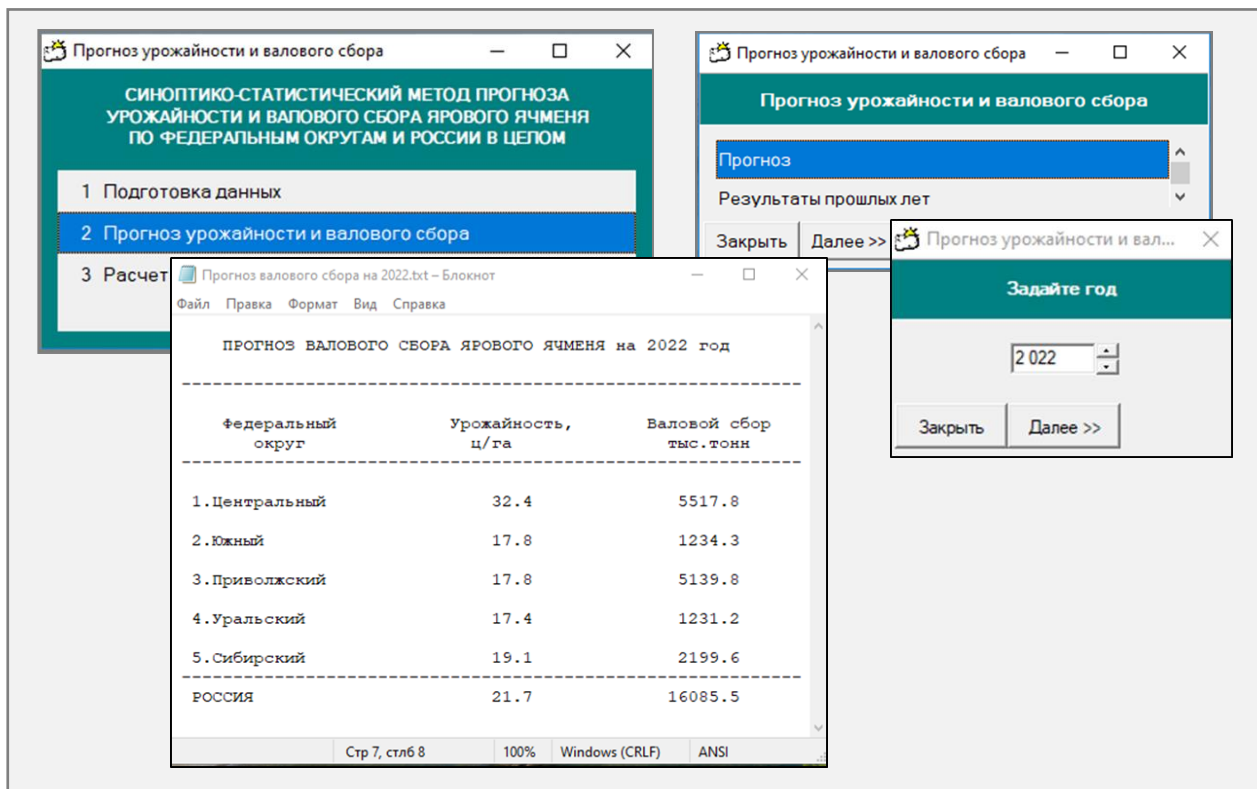


Рис. 5. Подпункты меню «Прогноз урожайности и валового сбора».

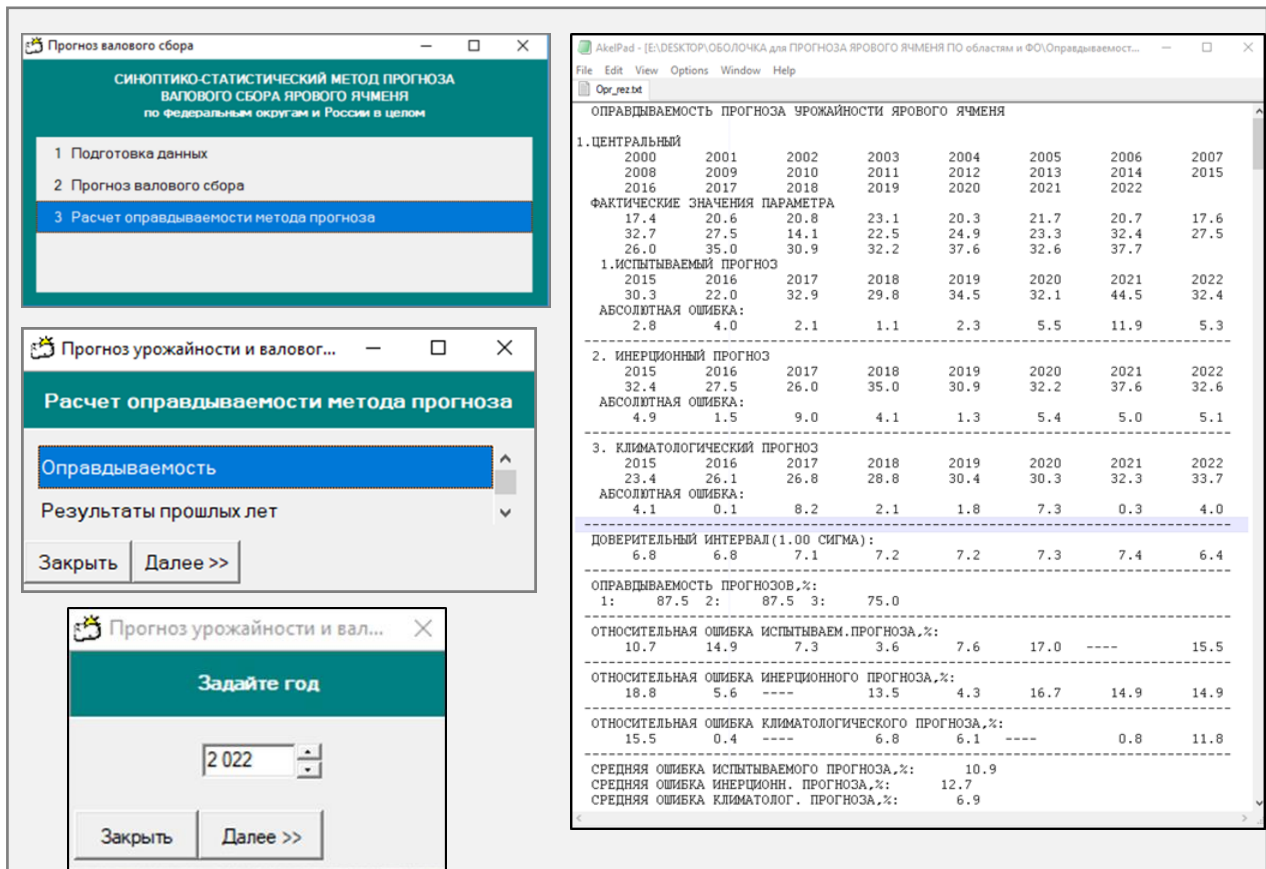


Рис. 6. Подпункты меню «Расчет оправдываемости метода прогноза».

Результаты испытаний метода прогноза

Авторские испытания метода прогноза урожайности и валового сбора зерновых культур проводились на данных 2015–2019 гг., а производственные – в ФГБУ «Гидрометцентр России» в течение трех лет с 2020 по 2022 год.

Оценка качества метода осуществлялась согласно РД 52.27.284-91 [14].

Критерии оправдываемости прогнозов:

- с заблаговременностью более четырех месяцев прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка не превышает среднее квадратическое отклонение прогнозируемого элемента (σ),
- оправдываемость метода является выраженным в процентах отношением числа оправдавшихся прогнозов к числу всех прогнозов, составленных по данному методу;
- средняя ошибка представляет собой выраженную в процентах среднюю относительную ошибку оправдавшихся прогнозов.

При оценке оправдываемости метода по РД 52.27.284-91 [14] в трех федеральных округах (Центральном, Южном, Приволжском) оправдываемость испытываемого метода выше оправдываемости инерционного и климатологического. В Уральском федеральном округе при одинаковой оправдываемости метода (87,5 %) ошибка испытываемого метода оказалась равной 15,3 %, при этом у инерционного – несколько ниже, 12,6 %. В Сибирском федеральном округе оправдываемость метода составила 87,5 % (один прогноз не оправдался), в то время как по инерционному методу все прогнозы оправдались. В целом по Российской Федерации оправдываемость испытываемого метода выше оправдываемости инерционного и климатологического методов (табл. 3).

Оценка оправдываемости прогнозов в оперативной работе проводится в соответствии с Инструкцией по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов [3]. Качество прогнозов оценивается по балльной шкале: оправдываемость 91 % и более – 5 баллов; 90–81 % – 4 балла; 80–70 % – 3 балла; менее 70 % – 0 баллов.

В период производственных испытаний было составлено 18 прогнозов. При оценке оправдываемости прогнозов по «Инструкции...», в 2020 и 2021 годах не оправдались прогнозы в двух федеральных округах, в 2022 году – в одном федеральном округе. По результатам производственных испытаний средняя оправдываемость составленных прогнозов составляет 78–82 %, средняя оправдываемость оправдавшихся прогнозов составляет 82–90 % (табл. 4).

Таблица 3

Результаты авторских (2015–2019 гг.) и производственных (2020–2022 гг.) испытаний метода прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур по федеральным округам и России в целом

Российская Федерация, федеральный округ	Метод прогноза урожайности					
	испытываемый		инерционный		климатологический	
	Оправды- ваемость, %	Ошибка %	Оправды- ваемость, %	Ошибка, %	Оправды- ваемость, %	Ошибка, %
Российская Федерация	87,5	9,7	75	13,7	75	8,8
Центральный ФО	87,5	10,9	87,5	12,7	75	6,9
Южный ФО	87,5	9,0	87,5	16,7	75	18,1
Приволжский ФО	87,5	17,3	62,5	21,3	75	15,0
Уральский ФО	87,5	15,3	87,5	12,6	62,5	10,5
Сибирский ФО	87,5	2,7	100	6,9	87,5	11,7

Таблица 4

Результаты производственных испытаний метода долгосрочного прогноза урожайности и валового сбора ярового ячменя по федеральным округам и России в целом

56

Российская Федерация, федеральный округ	Оправдываемость прогноза, %		
	2020 год	2021 год	2022 год
Российская Федерация	85,7	74,9	78,3
Центральный ФО	85,4	63,5	85,9
Южный ФО	94,3	86,2	81,3
Приволжский ФО	69,3	64,7	82,9
Уральский ФО	58,2	78,5	68,7
Сибирский ФО	96,0	99,1	80,6
Средняя оправдываемость, %	82	78	80
Средняя оправдываемость оправдавшихся прогнозов, %	90	85	82

Рекомендации о внедрении

Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 25 декабря 2023 г. метод долгосрочного прогноза урожайности и валового сбора ярового ячменя по федеральным

округам и России в целом рекомендован для использования в оперативной практике отдела агрометеорологических прогнозов ФГБУ «Гидрометцентр России» в качестве вспомогательного метода.

Список литературы

1. Инструкция по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов. – М.: Гидрометеиздат, 1983. – 7 с.
2. *Исаев А.А.* Статистика в метеорологии и климатологии. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 248 с.
3. *Лебедева В.М.* Метод долгосрочного прогноза теплообеспеченности вегетационного периода // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 9. – С. 93–99.
4. *Лебедева В.М.* Долгосрочный синоптико-статистический метод прогноза валового сбора зерновых культур по федеральным округам и России в целом // Труды ВНИИСХМ. – 2010. – Вып. 37. – С. 69–81.
5. *Лебедева В.М., Страшная А.И.* Основы сельскохозяйственной метеорологии». Том II. «Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии». Книга 2. «Оперативное агрометеорологическое прогнозирование: Учебное пособие. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. – 216 с.
6. *Лебедева В.М.* Синоптико-статистические методы прогноза урожайности озимых культур и теплообеспеченности вегетационного периода // Труды ВНИИСХМ. – 2013. – Вып. 38. – С. 71–86.
7. *Лебедева В.М., Береза О.В.* Результаты испытания метода долгосрочного прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур в целом по федеральным округам и России в целом // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2021. – Информационный сборник № 48. – С. 96–102.
8. *Мещерская А.В., Руховец Л.В., Юдин М.И., Яковлева Н.И.* Естественные составляющие метеорологических полей. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 200 с.
9. *Пасов В.М.* Путь увеличения заблаговременности составления прогноза урожая сельскохозяйственных культур // Труды ИЭМ. – 1971. – Вып. 22. – С. 82–88.
10. *Пасов В.М.* Численные эксперименты по составлению прогноза урожая яровых культур с большой заблаговременностью // Метеорология и гидрология. – 1972. – № 2. – С. 71–78.
11. *Пасов В.М., Аксарина Е.А., Зинченко В.П.* Методические указания по составлению прогноза урожайности яровой пшеницы до сева в основных районах ее возделывания. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – 39 с.
12. *Пасов В.М., Аксарина Е.А., Лебедева В.М.* Особенности циркуляции атмосферы в годы с различной урожайностью кукурузы в США // Труды ВНИИСХМ. – 1991. – Вып. 28. – С. 62–81.
13. *Полевой А.Н.* Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 320 с.
14. РД 52.27.284-91 Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – М.: Госкомгидромет, 1991. – С. 98–107.