

## Прогноз урожайности яровой пшеницы на Урале синоптико-статистическим методом

Л.Н. Ермакова, Н.И. Толмачева

Пермский государственный университет

Процесс формирования урожайности подвержен влиянию атмосферной макроциркуляции, которая в значительной степени определяет климатические особенности района и является первопричиной изменений погоды, а значит, и продуктивности растений [1,4,8]. Одним из методов прогноза продуктивности является синоптико-статистический, который позволяет проследить за изменениями циркуляционных условий в период вегетации и использовать в качестве предикторов параметры атмосферной циркуляции предшествующих периодов, что увеличивает заблаговременность прогноза.

Известно несколько подходов синоптико-статистического плана: анализ высотных барических полей Н100, Н500, анализ календаря фаз квазидвухлетней цикличности, анализ циркуляционных условий, предшествующих вегетационному периоду и т.д. В качестве предикторов используются значения геопотенциала в узлах регулярной сетки, углы наклона осей гребней или ложбин к широтным кругам, число дней с циклонической и антициклонической циркуляцией и т.д. Применение данных методов для больших территорий дает фоновое представление о продуктивности культурных фитоценозов. Большая степень детализации позволяет внести региональные поправки [3,5,7].

В связи с этим на основе существующих методик разработана синоптико-статистическая схема прогноза урожайности яровой пшеницы на Урале для Пермской, Челябинской, Свердловской и Курганской областей с учетом особенностей атмосферной циркуляции.

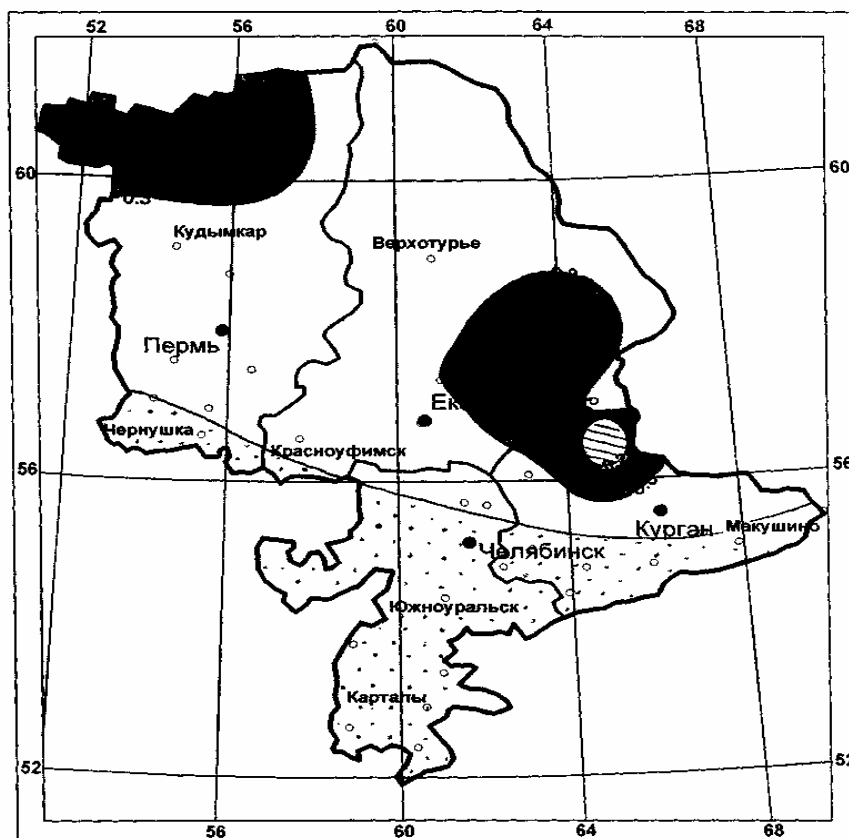
Изменчивость урожая яровой пшеницы в пределах той или иной территории отражает особенности метеорологического режима. На рис. 1 показано распределение климатической составляющей изменчивости урожая яровой пшеницы  $C_m$  по территории Урала. Общая тенденция изменения  $C_m$  характеризуется увеличением ее значений с северо-запада на юг и юго-восток рассматриваемой территории.

Зона наиболее устойчивых урожаев яровой пшеницы ( $C_m \leq 0,20$ ) занимает небольшую территорию и расположена в восточной части Урала, на севере Курганской области и крайнем юго-востоке Свердловской области. Эти районы отмечаются многоснежными продолжительными зимами, умеренно теплым летом. Годовая сумма осадков достигает 900 мм. Средние месячные температуры июля оптимальны для произрастания яровых зерновых культур.

Зона умеренно устойчивых урожаев яровой пшеницы ( $C_m = 0,21 \dots 0,29$ ) на карте представлена в виде 2 отдельных очагов: первый расположен на северо-западе Пермской области, второй – в восточной части Урала, на юго-востоке Свердловской и северо-востоке Курганской областей. Изменчивость метеорологических факторов здесь больше, чем в зоне наиболее устойчивых урожаев. На севере Пермской области уровень урожайности яровой пшеницы составляет 5–14 ц/га. Причём отклонения от тренда не превышают  $\pm 20\%$ , преобладают отклонения 10–15%.

Зона неустойчивых урожаев яровой пшеницы ( $C_m = 0,30 \dots 0,39$ ) захватывает западную и центральную части Пермской области, северную, центральную и юго-западную части Свердловской области и северную и юго-восточную части Курганской области.

Наиболее неустойчивые урожаи яровой пшеницы ( $C_m \geq 0,40$ ) наблюдаются на юге Урала и занимают почти всю территорию Челябинской области, восточные и южные районы Курганской области. Районы наиболее неустойчивых урожаев не образуют единой зоны,



Условные обозначения:

Значения  $C_m$ :



0.1 0.2 0.3 0.4

● Пункты наблюдений

Рис. 1. Пространственное распределение климатической составляющей изменчивости урожаев яровой пшеницы на Урале

располагаются хаотично на фоне зоны неустойчивых урожаев. Главной причиной существенных изменений урожайности от года к году являются периодически повторяющиеся засухи.

Климатические составляющие изменчивости урожаев яровой пшеницы рассчитаны для 48 хозяйств Пермской, Свердловской, Челябинской и Курганской областей по среднехозяйственным значениям урожаев. Поэтому границы выделенных зон могут претендовать на большую точность по сравнению с полученными при использовании данных о среднеобластных урожаях [2,6].

**Пермский край.** Средние многолетние урожаи яровой пшеницы составляют 9–22 ц/га. Урожайность в благоприятные годы достигает 42 ц/га, а в неблагоприятные снижается до 2 ц/га. Самые неблагоприятные годы за период исследования (1970–2000) – 1981 и 1989. Умеренно устойчивые урожаи наблюдались всего в двух хозяйствах края – Косинском и Бардымском. Здесь климатическая составляющая изменчивости урожаев  $C_m$  изменялась в пределах 0,21–0,29. Большая часть территории относится к зоне неустойчивых и наиболее неустойчивых урожаев ( $C_m > 0,40$ ).

Метеорологическая составляющая урожайности  $\Delta y_i$  представлена в отклонениях от тренда и рассчитывается по формуле

$$\Delta y_i = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{\hat{y}_i} * 100,$$

где  $y_i$  — урожайность конкретного года;  $\hat{y}_i$  — динамическая урожайность за этот же год.

Поскольку предполагается, что урожайность по тренду  $\hat{y}_i$  характеризует уровень агротехники, достигнутый в каждом году, то величина  $\Delta y_i$  должна указывать на ту часть изменчивости урожайности, которая связана с особенностями метеорологических условий вегетационных периодов. В зависимости от уровня изменчивости урожаев отличаются и их отклонения от трендовых значений. В зоне неустойчивых урожаев метеорологические составляющие достигают 83%, в зоне наиболее неустойчивых урожаев превышают 85%.

В зонах умеренно устойчивых урожаев наибольшая повторяемость приходится на метеорологическую составляющую  $0... \pm 20\%$ .

**Свердловская область.** Средние многолетние урожаи составляют 13–28 ц/га. В благоприятные по агрометеорологическим условиям годы урожайность яровой пшеницы достигает 45–50 ц/га, в неблагоприятные может снижаться до 0,5 ц/га. В зоне умеренно устойчивых урожаев отклонения от тренда составляют не более 63%. Максимальная повторяемость приходится на метеорологическую составляющую  $\Delta y_i = 0–21\%$ , т. е. в большинстве случаев урожаи яровой пшеницы в этой зоне выше трендовых в среднем на 20%. С уменьшением устойчивости урожаев расширяется диапазон изменения  $\Delta y_i$ . В зоне неустойчивых урожаев отклонения от тренда могут превышать 85%.

**Челябинская область.** Средние многолетние урожаи изменяются в пределах 8–17 ц/га. В наиболее благоприятные годы урожайность яровой пшеницы составляла 30–40 ц/га, в отдельные годы снижалась до 1–2 ц/га. Особенностью данной территории является практическое отсутствие зон с устойчивыми, умеренно устойчивыми и даже неустойчивыми урожаями. Климатические составляющие почти на всей территории превышают значения 0,40. Диапазон изменения метеорологической составляющей урожайности ещё более расширяется по сравнению с другими областями, превышая в отдельные годы 100%.

**Курганская область.** Средние многолетние урожаи яровой пшеницы изменяются от 12,5 до 20 ц/га. Особенностью распределения  $C_m$  по территории Курганской области является то, что только здесь представлены все четыре зоны устойчивости урожаев: устойчивых урожаев яровой пшеницы ( $C_m < 0,20$ ), умеренно устойчивых ( $C_m = 0,21–0,29$ ), неустойчивых ( $C_m = 0,30–0,40$ ), наиболее неустойчивых ( $C_m > 0,40$ ).

Таким образом, на территории Урала представлены все зоны изменчивости урожаев яровой пшеницы – от наиболее устойчивых до наиболее неустойчивых. Чем более неустойчивы урожаи, тем значительнее их метеорологические составляющие. В зависимости от степени устойчивости урожаев изменяется и точность агрометеорологических прогнозов.

Для синоптико-статистической схемы прогноза необходимо определить районы, изучение циркуляционных условий над которыми может дать информацию о формировании продуктивности яровых культур. С целью выявления таких районов анализируется связь полей геопотенциала  $H_{500}$  в весенние естественно-синоптические периоды (7 периодов с конца марта до начала мая) с урожайностью яровой пшеницы. Для этого европейская территория Северного полушария, ограниченная по долготе  $20^\circ$  з.д. и  $80^\circ$  в.д., по широте –  $40–80^\circ$  с.ш., разделена на квадраты с шагом сетки  $10 \times 10^\circ$ . Выбор территории обусловлен влиянием атмосферной циркуляции над Атлантикой и южных широт на производственные процессы. Каждой точке регулярной сетки присвоен шифр: первая точка ( $80^\circ$  с.ш.;  $20^\circ$  з.д.) – А1, последняя точка – А11 данной широты с координатами ( $80^\circ$  с.ш.;  $80^\circ$  в.д.);  $70^\circ$  широты также с запада на восток: Б12 – Б22 и т.д. В узлах регулярной сетки снимались значения геопотенциала с осредненных за естественно-синоптические периоды карт  $AT_{500}$ . Рассчитывались парные коэффициенты корреляции между значениями геопотенциала в определенном узле и средней по области урожайностью яровой пшеницы. Построены поля изокоррелят с исполь-

зованием геоинформационной системы (программа Arc View). Значимый коэффициент корреляции при доверительной вероятности  $\beta=0,95$  и объеме выборки  $n = 30$  равен 0,35. Используя значения геопотенциала  $H_{500}$  в указанных точках в качестве предикторов, построены уравнения регрессии для прогноза урожайности яровой пшеницы. Коэффициенты в уравнениях регрессии рассчитаны методом наименьших квадратов. Уравнения проверены на зависимом и независимом материале.

**Пермский край.** Для примера приведем поле изокоррелят за второй ЕСП (4.IV–8.IV) (рис. 2).

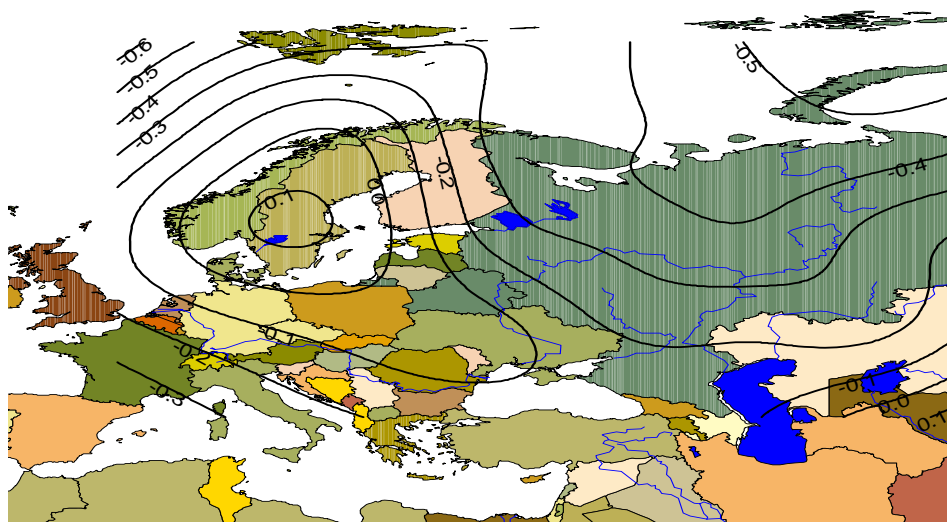


Рис. 2. Парные коэффициенты корреляции  $r$  ( $H_{500}$ , урожайность яровой пшеницы) за второй ЕСП (1970–2000 гг.). Пермский край

Значимые коэффициенты корреляции наблюдаются над бассейнами Северного Ледовитого океана и южной акваторией Баренцева моря.

Линейное уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Y = 1.081A_2 - 2.004A_3 + 0.939A_4 - 0.132A_5 + 0.353A_7 - 0.229A_8 - 0.068A_9 + 0.027A_{10} - 0.018A_{11} + 0.041B_{16} - 0.145B_{17} + 0.136B_{18} - 0.163B_{19} + 108.448,$$

где  $Y$  – прогнозируемая урожайность, ц/га;  $A_2, A_3, A_4, A_5, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}, B_{16}, B_{17}, B_{18}, B_{19}$  – значения геопотенциала в соответствующих узлах сетки, дам.

В целом для Пермского края получено 7 прогностических уравнений регрессии для последовательных естественно-синоптических периодов. Для прогноза урожайности в Пермском крае информативны следующие районы: бассейн Северного Ледовитого океана, южная акватория Баренцева моря, центральные районы Западной Сибири, Южная Европа.

Можно было предположить, что уравнения для поздних ЕСП дают более высокую оправдываемость. Однако такой закономерности не прослеживается. Средняя оправдываемость уравнений на зависимом материале составила 75 – 90%, причем наиболее высокая – для второго ЕСП. Минимальная оправдываемость уравнений наблюдается в 1986 и 1999гг. Эти годы отличались формированием высоких и низких урожаев яровой пшеницы соответственно. Таким образом, для прогноза урожаев яровой пшеницы в Пермском крае целесообразно рекомендовать уравнение для второго ЕСП, как уравнение с наиболее высокой оправдываемостью.

Проверка на независимом материале позволяет оценить прогноз урожайности в Пермском крае как успешный, оправдываемость прогноза составила 91–98%.

**Челябинская область.** Приведем пример распределения изокоррелят для четвертого естественно-синоптического периода (рис. 3).

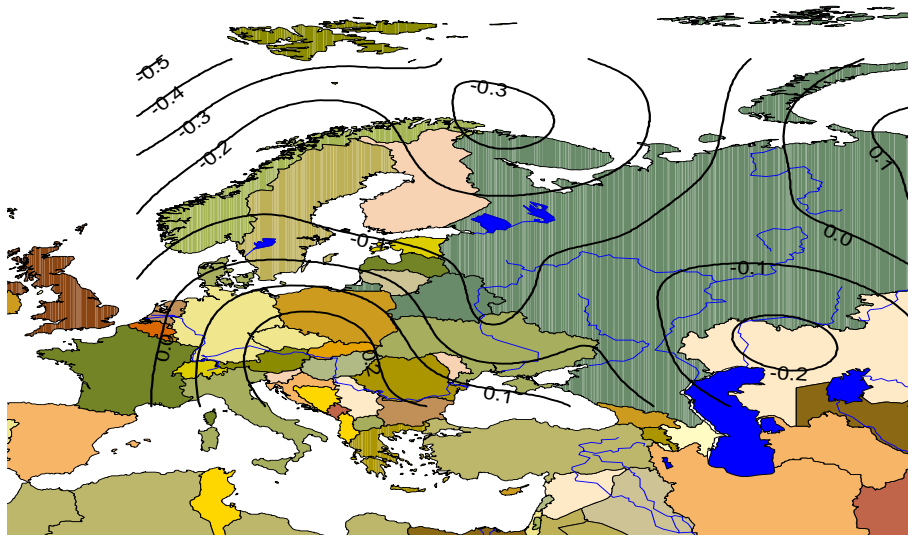


Рис. 3. Парные коэффициенты корреляции  $r$  ( $H_{500}$ , урожайность яровой пшеницы) за четвертый ЕСП. Челябинская область

Уравнение регрессии для четвертого ЕСП (14.IV – 19.IV):

$$Y = -0,205Г37 - 0,337Д53 + 315,229.$$

Здесь  $Y$  – прогнозируемая урожайность, ц/га;  $Г37$ ,  $Д53$  – значения геопотенциала в узлах сетки, дам.

Уравнение регрессии для седьмого ЕСП (2.V – 7.V) имеет вид

$$Y = -0,002Г34 + 13,257.$$

Здесь  $Y$  – прогнозируемая урожайность, ц/га;  $Г34$  – значение геопотенциала в узле сетки, дам. Средняя оправдываемость уравнений на зависимом материале составила 62%, на независимом материале – 93–94%.

Таким образом, для Челябинской области информативными являются районы Центральной Европы, Северной Атлантики и Передней Азии. В отличие от других территорий для Челябинской области получено всего два уравнения регрессии. Очевидно, это связано с тем, что согласно проведенному районированию Челябинская область относится к зоне наиболее неустойчивых урожаев. Здесь отклонения урожайностей от трендовых значений в отдельные годы превышают 85%, что существенно затрудняет прогнозирование.

**Свердловская область.** Пример поля изокоррелят для четвертого ЕСП приведен на рис. 4.

Получено 4 уравнения регрессии для последних четырех ЕСП. Уравнение регрессии для четвертого ЕСП имеет вид

$$Y = -0,304Б12 + 0,168Б13 + 0,117Б14 - 0,181Б15 - 0,052Б16 + 149,974, \quad (3.10)$$

где  $Y$  – прогнозируемая урожайность, ц/га;  $Б12$ ,  $Б13$ ,  $Б14$ ,  $Б15$ ,  $Б16$  – значения геопотенциала в узлах сетки, дам.

Средняя оправдываемость уравнений на зависимом материале составила 79–89%. Оправдываемость на независимом материале увеличивается при переходе к более поздним ЕСП и составляет 86–99%.

Таким образом, для Свердловской области информативными районами являются западная часть бассейна Северного Ледовитого океана, Северная Атлантика, северо-западные и северные районы Казахстана.

**Курганская область.** Наиболее высокую оправдываемость показало уравнение регрессии для шестого ЕСП, распределение изокоррелят которого представлено на рис. 5.

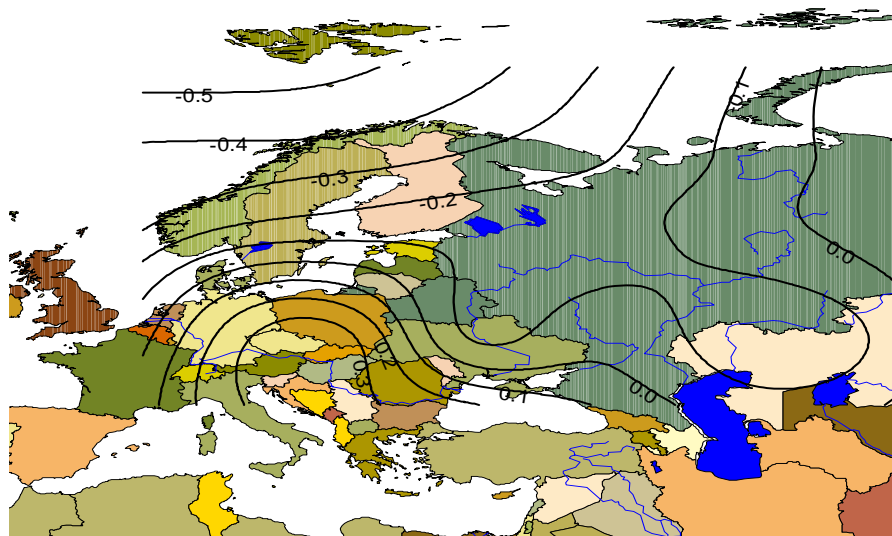


Рис. 4. Парные коэффициенты корреляции  $r$  ( $H_{500}$ , урожайность яровой пшеницы) для четвертого ЕСП (1970-2000 гг.). Свердловская область

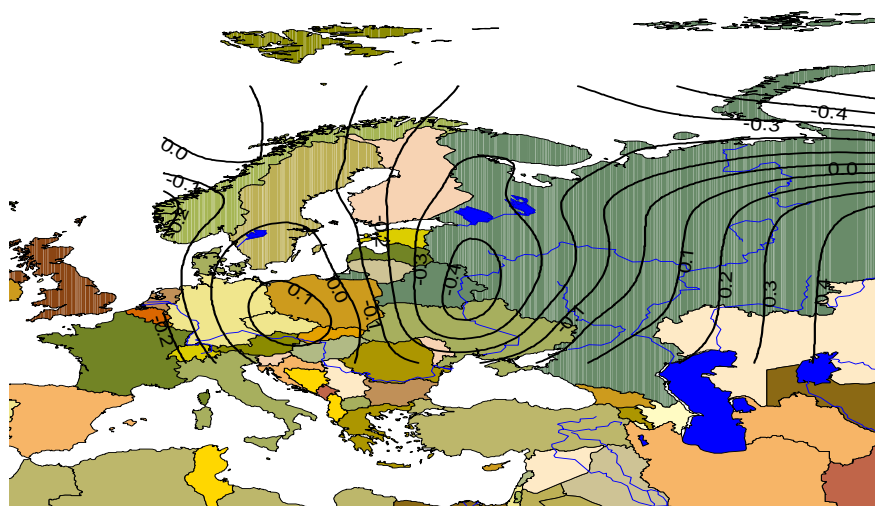


Рис. 5. Парные коэффициенты корреляции  $r$  ( $H_{500}$ , урожайность яровой пшеницы) для шестого ЕСП (1970-2000 гг.). Курганская область

Уравнение регрессии для шестого ЕСП имеет вид

$$\begin{aligned}
 Y = & 0,148A_9 + 0,072A_{10} - 0,083A_{11} - 0,320B_{22} - 0,102B_{26} - 0,021B_{27} + \\
 & + 0,209B_{28} - 0,274B_{31} + 0,399B_{32} + 0,049B_{33} - 0,166Г_{37} + 0,146Г_{38} - \\
 & - 0,228Г_{39} - 0,002Г_{42} + 0,036Г_{43} + 0,007Г_{44} + 85,6, \quad (3.18)
 \end{aligned}$$

где  $Y$  – прогнозируемая урожайность, ц/га;  $A_9, A_{10}, A_{11}, B_{22}, B_{26}, B_{27}, B_{28}, B_{31}, B_{32}, B_{33}, Г_{37}, Г_{38}, Г_{39}, Г_{42}, Г_{43}, Г_{44}$  – значения геопотенциала в узлах сетки, дам.

Всего для Курганской области получено 6 прогностических уравнений. Средняя оправдываемость на зависимом материале составила 67–80%, на независимом – 82–93%. Информативными районами для Курганской области являются восточная часть бассейна Северного Ледовитого океана, Скандинавия, Северная Атлантика, Центральная Европа, Восточная Европа, Южная Европа.

Таким образом, синоптико-статистический метод является перспективным, так как заблаговременность прогноза увеличивается до 3-4 месяцев, кроме того, такой подход учи-

тывает один из важнейших факторов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур – атмосферную циркуляцию. Полученные уравнения имеют достаточно высокую оправдываемость и могут быть рекомендованы для прогноза урожайности яровой пшеницы на Урале.

#### **Библиографический список**

1. *Агрометеорологические условия и урожайность сельскохозяйственных культур* / под ред. А.И. Страшной, А.И. Деревянко. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 136 с.
2. *Аксарина Е.А.* Закономерности распределения метеорологической составляющей урожайности яровой пшеницы по территории СССР / Е.А. Аксарина, В.М. Пасов // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. 1977. Вып. 36. С. 41–50.
3. *Аксарина Е.А.* Прогноз урожайности яровой пшеницы до сева в Казахстане на основе использования особенностей циркуляции атмосферы / Е.А. Аксарина, В.М. Пасов // Там же. 1978. Вып. 1. С. 12–26.
4. *Аксарина Е.А.* Особенности летней циркуляции атмосферы над северным полушарием в экстремальные по урожайности яровой пшеницы годы в Казахстане / Е.А. Аксарина, В.М. Пасов // Метеорология и гидрология. 1976. № 2. С. 85–91.
5. *Пасов В.М.* Синоптико-статистический метод прогнозирования урожайности зерновых культур / В.М. Пасов // Там же. 1992. № 10. С. 77–85.
6. *Пасов В.М.* Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур / В.М. Пасов. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 115 с.
7. *Пасов В.М.* Использование синоптико-статистического метода для составления прогноза урожайности яровой пшеницы в основных районах ее выращивания на территории СССР / В.М. Пасов, Е.А. Аксарина, В.П. Зинченко // Тр. ВНИИСХМ. 1983. Вып. 8. С. 58–66.
8. *Пасов В.М.* Исследование особенностей циркуляции атмосферы в связи с формированием урожая яровой пшеницы / В.М. Пасов, Е.А. Аксарина, В.П. Зинченко // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 9. С. 91–103.