ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2016, № 2, с. 90–99

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 551.577.38

ИЗМЕНЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ, ВЫЗВАННЫЕ КВАЗИДВУХЛЕТНЕЙ ЦИКЛИЧНОСТЬЮ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

© 2016 г. А.Н. Золотокрылин, Е.А. Черенкова, Т.Б. Титкова, А.Ю. Михайлов, М.Ю. Бардин, А.В. Ширяева, В.В. Виноградова

Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: azolotokrylin1938@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.04.2015 г.

Изучение влияния квазидвухлетней цикличности атмосферных процессов на осадки и частоту весенне-летней засухи на фоне статистики циклонической и антициклонической активности в разные фазы квазидвухлетнего колебания и, как следствие, на урожайность пшеницы на территории европейской части России. Территория исследования – зерновая зона ЕЧР, включающая Северный Кавказ, Центрально-Черноземные области, Поволжье и Южный Урал. В качестве данных, характеризующих "классическую" КДЦ, рассмотрен ряд значений скорости и направления зонального ветра на изобарической поверхности 30 гПа за период с 1953–2011 гг. Декадные суммы осадков, индексов PDSI, SPI, толщины снежного покрова в марте, повторяемости центров циклонов за период вегетации классифицированы по фазам КДЦ. Выявлено увеличение толщины снежного покрова в марте, значимое увеличение осадков и сокращение частоты сильных засух в мае, связанное с интенсификацией циклонической активности, в период западной фазы по отношению к восточной на обширной территории: западные Центрально-Черноземные области, Ростовская область и Краснодарский край. В результате изменения агроклиматических условий в зависимости от фаз КДЦ на территории, установлено значимое превышение урожайности яровой пшеницы в период западной фазы по отношению к восточной. Урожайность озимой пшеницы была менее чувствительной к КДЦ. Результаты исследования могут быть использованы для адекватного решения проблемы повышения устойчивости урожаев в России (улучшение агрометеорологической практики, включая прогностические аспекты, и агрострахование).

Ключевые слова: QBO, циклоническая активность, осадки, засухи, урожайность зерновых.

Введение. Устойчивость сборов зерна в России во многом зависит от возможности территориальной и межгодовой компенсации урожаев, регулируемой пространственно-временным разнообразием агроклиматов. Значительную роль в формировании этого разнообразия, особенно в период вегетации, играет квазидвухлетняя цикличность (КДЦ) атмосферных процессов. Наиболее известным примером проявления КДЦ является ритмичность поля зонального ветра в приэкваториальной нижней стратосфере, именуемой иногда "классической" или "чистой" КДЦ. Ритмичность поля ветра на высоте 22–25 км выражается регулярной сменой зонального ветра (западная фаза) восточным (восточная фаза) и наоборот, примерно каждые 28 месяцев. В среднем через пять лет регулярная смена фаз нарушается эффектом сбоев КДЦ. При этом в результате сбоев удлиняется характерный период КДЦ. Сбои КДЦ связываются с крупномасштабными аномалиями атмосферной циркуляции, в частности, с блокирующими антициклонами [4]. Мониторинг скорости и фаз приэкваториального зонального ветра проводится с 1953 г., данные регулярно публикуются. Многолетние исследования подтверждают существование сигнала КДЦ в межгодовой изменчивости приземного климата в средних и высоких широтах.

В работе [3] была выявлена двухлетняя цикличность в колебаниях урожайности зерновых культур на территории СССР. Но так как эффект сбоев КДЦ к тому времени еще не был известен, то автор не смог объяснить причину эпизодических повышений урожайности в четные или нечетные годы. Позднее спектральный диапазон КДЦ был обнаружен в рядах областной урожай-

ности зерновых с помощью спектрального анализа [5]. Только в 1985 г. в работе [1] был сформулирован новый взгляд на роль КДЦ в межгодовой изменчивости урожайности, уточненный в более поздних работах [2, 7]. В основе этого взгляда лежит положение, что приземный климат может быть классифицирован по фазам КДЦ зонального ветра в приэкваториальной нижней стратосфере. Разность средних климатических показателей по фазам определяет в среднем вклад КДЦ. Таким же образом классифицируется урожайность сельскохозяйственных культур, в частности, урожайность яровой и озимой пшеницы.

Относительная пространственно-временная стабильность сигнала "классической" КДЦ в приземном климате является основанием для разработки: (1) рекомендаций по повышению устойчивости сборов зерна в зерновой зоне Европейской части России (ЕЧР) с учетом компенсационного эффекта КДЦ; (2) новых прогностических методик, повышающих оправдываемость агрометеорологических прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур.

Цель работы состоит в изучении влияния КДЦ на осадки, частоту весенне-летних засух, снегозапасы на фоне статистики циклонической активности в разные фазы КДЦ и, как следствие, на урожайность пшеницы на Европейской части России.

Территория, исходные данные и методика исследований. Территория исследования – зерновая зона ЕЧР, включающая Северный Кавказ, Центрально-Черноземные области, Поволжье и Южный Урал.

В качестве данных, характеризующих "классическую" КДЦ, рассмотрен ряд значений скорости и направления зонального ветра на изобарической поверхности 30 гПа за период с 1953–2011 гг. (данные Freie Universitat Berlin, https://climatedataguide.ucar.edu).

Очевиден тот факт, что осадки, выпадающие в период активной вегетации, играют определяющую роль в развитии и продуктивности посевов. На стадии созревания растения становятся несколько менее чувствительными к засухе. В данном исследовании рассматриваются атмосферные засухи весной и в начале лета, к которым наиболее восприимчивы яровые сельскохозяйственные культуры (в том числе яровая пшеница). Несмотря на то, что преобладающей зерновой культурой на ЕЧР является озимая пшеница, важность возделывания яровой пшеницы (в особенности твердых сортов) несомненна.

В работе использован достаточно формальный подход к определению фаз КДЦ, когда направление скорости зонального приэкваториального нижнестратосферного ветра в период с апреля по июнь берется за основу при отнесении года к западной (положительные скорости) и восточной фазе (отрицательные скорости). В результате, западная фаза КДЦ в период 1953–2011 гг. включала 27 лет, а восточная фаза – 31 год. В соответствии с этим разделением были рассмотрены ежегодные суммы декадных осадков, значения индекса засухи, частота сильной засухи, величины снегозапаса и данные по урожайности пшеницы, а также исследованы различия их статистики для выборок лет, отнесенных к разным фазам.

Декадные суммы осадков рассчитаны по суточным данным наблюдений за осадками из климатического архива ВНИИГМИ-МЦД (http://www.meteo.ru) на метеостанциях, находящихся в пределах ЕЧР.

Периоды засухи были определены на основе анализа значений повсеместно применяемого в мире, но все еще недостаточно хорошо известного в России количественного показателя засухи – индекса суровости засухи Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI) [9]. Индекс Палмера рассчитывается по метеорологическим данным (месячным значениям температуры и осадков), а также локальным константам влагоемкости почвы. Данные используются для оценки составляющих водного баланса на поверхности почвы по упрощенной схеме влагопереноса в почве. При этом потенциальная эвапотранспирация определяется в оригинале по методу Торнтвейта [12]. Для учета кумулятивного эффекта продолжительных периодов дефицита влаги используется рекурсивная двухэтапная процедура построения индекса, т.е. его значение на определенном временном интервале зависит от его значения на предыдущем шаге. Полученный в итоге стандартизованный индекс Палмера оценивает 11 градаций увлажнения выбранной территории – от экстремальных засух до избыточного увлажнения. Значения индекса суровости засухи Палмера от –1 до 1 соответствуют нормальным условиям увлажнения. Засуху характеризуют отрицательные значения индекса: от –1 до –2 – слабая засуха, от –2 до –3 – умеренная, от –3 до –4 – сильная, менее –4 – экстремальная. Частота засухи была рассчитана как отношение числа лет с засухой к общему количеству рассмотренных лет.

В исследовании был использован глобальный архив данных ежемесячных значений так называемого самокалибрующегося индекса Палмера с

1890 по 2010 гг. пространственного разрешения 2.5 × 2.5° [9].

Для анализа интенсивности атмосферной засухи были также использованы значения стандартизированного индекса осадков (Standardized Precipitation Index, SPI) из глобального среднемесячного архива данных Национального центра атмосферных исследований (http://rda.ucar.edu) пространственного разрешения 1 × 1°. Для получения значений этого индекса оценивается функция распределения суммы осадков за выбранный период. По данным исследования Thom [11], временному ряду наблюдений за осадками лучше всего соответствует функция гамма-распределения. Она преобразуется в стандартное нормальное распределение со средним равным нулю, чтобы вычислить значения SPI в каждом узле регулярной сетки. Отрицательные значения указывают на осадки, которые меньше средних, и наличие сухих периодов: от 0 до –0.99 – слабой засухи, от –1 до –1.49 – умеренной засухи, –1.5 до –1.99 – сильной засухи, и –2 или меньше – экстремальной засухи. SPI рассчитывается для разных временных масштабов – от 3 до 48 месяцев. Были рассмотрены временные ряды 3-месячного SPI. Частота засухи в каждом узле сетки рассчитывалась как отношение количества лет с засухой и общего количества лет.

Различия снегозапасов (%) в противоположные фазы КДЦ были определены на основе интегральных оценок толщины снежного покрова в феврале и марте по суточным данным наблюдений характеристик снега из климатического архива ВНИИГМИ-МЦД (http://www.meteo.ru).

В исследовании впервые предпринята попытка связать различия статистик показателей увлажнения (атмосферных осадков) и засухи непосредственно с различием статистик синоптических вихрей в противоположных фазах КДЦ для периода ранней фазы вегетации яровой пшеницы (май и июнь).

Для анализа статистики синоптических вихрей в различных фазах КДЦ использовались данные реанализа NCEP/NCAR [10]. Они представлены двухмерными массивами значений различных метеоэлементов в узлах географической сетки размером 2.5° по широте и 2.5° по долготе для четырех метеорологических сроков за все дни в период с 1948 по 2012 гг.

Под повторяемостью центров циклонов по данным о геопотенциальной высоте AT-1000 подразумевается частота попадания индикатора центра циклона в ромбовидную область с вершинами в точках $(i–1, j)$, $(i + 1, j)$, $(i, j–1)$, $(i, j + 1)$, где расстояние между первыми двумя точками равно 5° долготы, а между последними двумя – 5° широты. При этом критерием такого попадания является следующее условие (логическое выражение):

$$(h_{i,j} < h_{i-1,j}) \,\&\, (h_{i,j} < h_{i+1,j}) \,\&\, (h_{i,j} < h_{i,j-1}) \,\&\, (h_{i,j} < h_{i,j+1}).$$

Здесь h означает геопотенциальную высоту AT-1000, а физический смысл критерия – "центральная точка (индикатор) должна быть меньше по h всех четырех ближайших". Длина выборки при определении средней частоты событий в данном случае равна $4*m$ (4 – число сроков в сутках, m – число дней в месяце).

Для независимого подтверждения оригинальности подхода предложена статистическая модель областной урожайности пшеницы (яровой и озимой). Отличие этой модели от разработки Росгидромета состоит в том, что она наряду с метеорологическими переменными включает индекс КДЦ. При моделировании урожайности яровой пшеницы в статье использован статистический метод множественного регрессионного анализа, где в качестве зависимой переменной выступает среднеобластная урожайность (данные Федеральной службы государственной статистики, http://www.gks.ru/), а независимыми переменными являются полученные на основе наблюдений метеорологические показатели: декадные и среднемесячные температуры воздуха, декадные и месячные суммы осадков с сентября по июнь, среднемесячные суммы температур, превышающие +10 °С и месячные суммы осадков, выпавших в дни с такими температурами с мая по июнь, а также среднемесячные значения гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова и его нормированные значения за аналогичный период. Для учета КДЦ в список независимых переменных дополнительно были включены среднемесячные скорости зонального ветра в приэкваториальной стратосфере на высоте 30 гПа. Влияние трендовой составляющей урожайности на рассмотренном временном интервале 1995–2011 гг. полагалось несущественным.

Моделирование урожайности яровой пшеницы осуществлено на примере Ростовской области. Использованы данные находящихся на территории области шести метеостанций Росгидромета из архива данных ВНИИГМИ-МЦД. Выбор продиктован статистической значимостью различий урожайности в Ростовской области, осредненной за годы противоположных фаз КДЦ.

В качестве метода построения регрессии был выбран метод пошагового отбора без принудительного включения переменных. Чтобы добить-

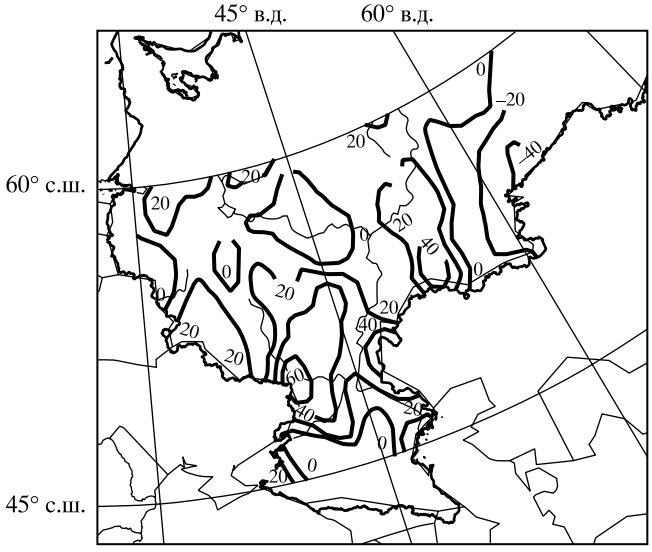

Рис. 1. Изменение средних сумм осадков (%) на Европейской части России в период западной фазы КДЦ по сравнению с периодом восточной фазы. 2-я декада мая. Период 1953–2010 гг.

ся получения устойчивой модели, были исключены избыточные переменные-предикторы путем оценки их взаимной коррелированности. Кроме того, для увеличения корреляции зависимой и независимых переменных модели была произведена замена независимых переменных на их нелинейные функционалы (в основном полиномы 2-го и 3-го порядков). Для оценки статистической значимости результатов использовался двухсторонний *t*-тест с уровнем значимости 0.95.

Результаты и их обсуждение. В работе [1] впервые были обнаружены административные области РСФСР и Украины со значимым превышением майских осадков в западную фазу КДЦ по отношению к восточной ее фазе за период 1953–1984 гг. Этот результат был подтвержден в данном исследовании в результате рассмотрения более длинного временного интервала не только месячных осадков (май, июнь), но и декадных (рис. 1).

Результаты анализа различий снегозапасов в противоположные фазы КДЦ в период 1953–2012 гг. указывают на аналогичную тенденцию превышения толщины снега в западную фазу по сравнению с восточной фазой на юге Восточно-Европейской равнины. В феврале область повышенных снегозапасов в западную фазу КДЦ обнаружена в центре Украины, Приазовье, в центральном регионе ЕЧР, однако все эти изменения не превысили 10%. Наиболее отчетливое превышение снегозапасов в западную фазу КДЦ выявлено в марте в зонально ориентированной полосе между 45° и 52° с. ш. (рис. 2). Области статистически значимых изменений (>15%) локализованы на территории центральной Украины, в небольшой области на востоке Калмыкии и на западе Казахстана.

Значимые различия частоты сильных и экстремальных засух (по разным индексам) в периоды западной и восточной фаз КДЦ на территории зернового пояса были выявлены впервые. Частота сильной и экстремальной засухи в западную фазу КДЦ по отношению к восточной меньше в степной зоне и больше – в остальных зернопроизводящих районах (рис. 3). Также частота сильных засух в западную фазу КДЦ по сравнению с ее восточной фазой в мае уменьшилась практически на всей ЕЧР. В июне аналогичное уменьшение наблюдалось в Центрально-Черноземном районе, в Ростовской области, на Кубани, а увеличение – в Поволжье.

Повышенное увлажнение юга ЕЧР в мае при западной фазе КДЦ установлено из сравнения карт повторяемости циклонов в западную и восточную фазы [6, 8]. Этот результат был подтвержден новой независимой оценкой распределения центров циклонов на ЕЧР, позволившей выявить дополнительные различия в распределении повторяемости циклонов, которое в западную фазу КДЦ существенно отличается от восточной (рис. 4).

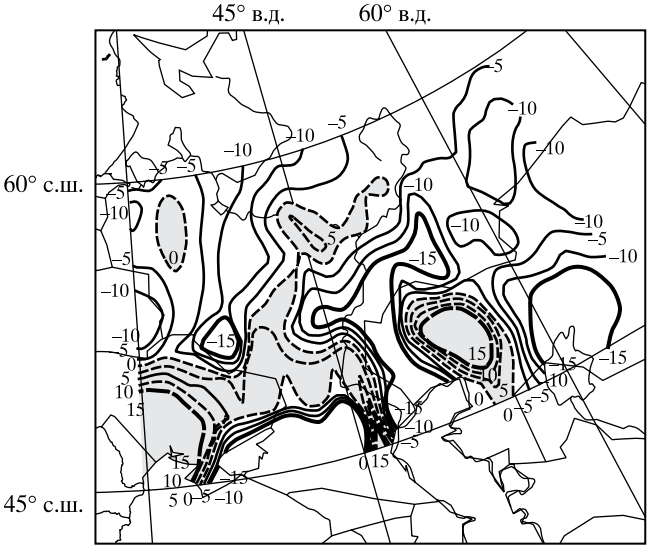

Рис. 2. Изменение суммарной за март толщины снежного покрова (%) на южной половине Восточно-Европейской равнины в западную фазу КДЦ по сравнению с восточной фазой в период 1953–2012 гг. Серым цветом показаны положительные изменения, толстыми линиями отмечены области значимых изменений.

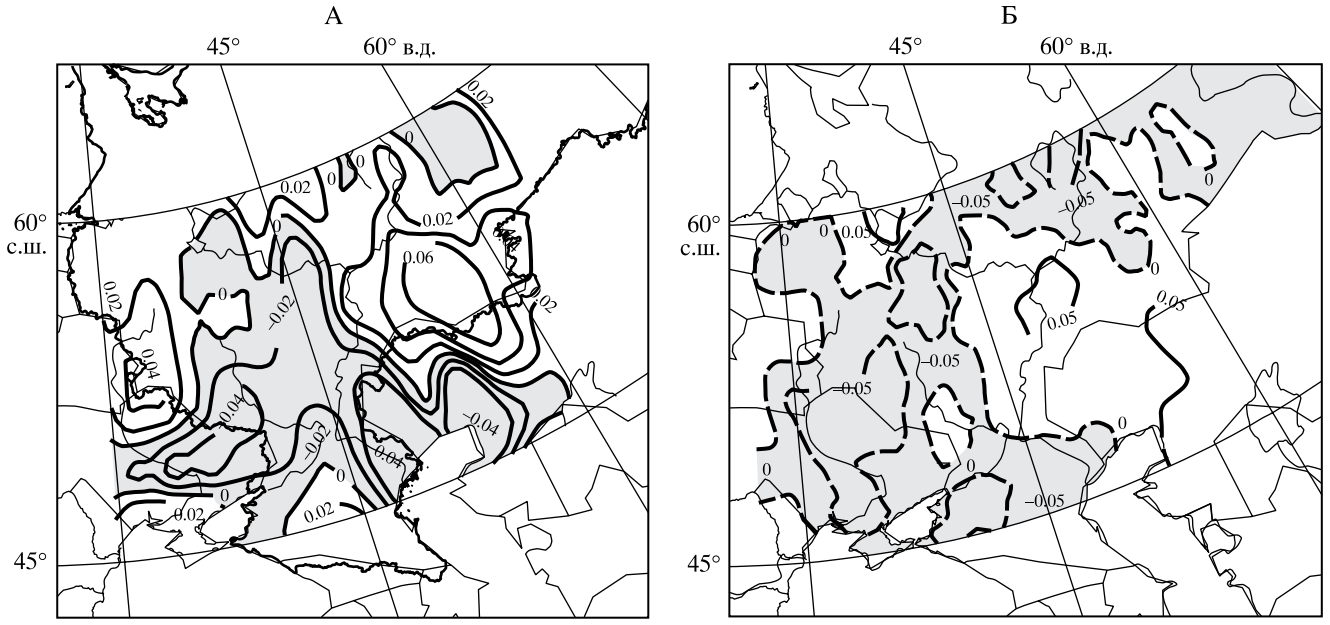

Рис. 3. Изменение частоты сильной засухи на южной половине Восточно-Европейской равнины в годы западной фазы КДЦ по сравнению с его восточной фазой в мае в период 1953–2010 гг. по данным PDSI (А) и в июне в период 1953–2011 гг. по данным 3 месячного SPI (Б). Серым цветом показаны отрицательные изменения.

Так, в период западной фазы центры циклонов группируются над центральной Украиной и российским Приазовьем, затем узкой полосой проходят через Воронеж и соединяются с их Верхневолжской группировкой. Восточнее верхневолжской локализуется среднеуральская группировка центров циклонов (рис. 4А). В период восточной фазы максимальные повторяемости центров циклонов над центральной Украиной смещаются к югу и группируются над Молдавией, югом Украины, покрывают западную часть Крыма с прилегающей акваторией Черного моря. Одновременно резко снижается повторяемость циклонов в российском Приазовье и в Воронежско-Верхневолжской группировке (рис. 4Б).

Осадки, связанные с максимальной повторяемостью центров циклонов, приводят к повышенному увлажнению Центрально-Черноземных областей, Ростовской области и Краснодарского края в западную фазу КДЦ. Следует отметить, что в июне в целом не наблюдается заметных различий повторяемости циклонов в рассматриваемом регионе.

В работе [6] для детализации циркуляционных условий были рассмотрены карты условных средних характеристик антициклонической активности (“композиты”). Как в мае, так и в июне для западной фазы КДЦ характерна пониженная засушливость на территории Воронежской, Ростовской, Волгоградской, Астраханской областей и в Калмыкии, и повышенная – на Северном Кавказе и Южном Урале.

В мае пониженная засушливость в западную фазу КДЦ в перечисленных областях связана с меньшей повторяемостью антициклонов и более высокой повторяемостью циклонов (рис. 4А). В то же время на Северном Кавказе в западную фазу наблюдается более высокая повторяемость антициклонов.

На Южном Урале повторяемость антициклонов в мае примерно одинакова в обе фазы КДЦ. Однако здесь в западную фазу наблюдаются значительно более обширные антициклонические образования, в которых создаются условия, благоприятствующие развитию засухи. Кроме того, более крупные и менее подвижные антициклоны эффективнее блокируют циклоны, развивающиеся на севере Каспийского моря.

Механизм влияния КДЦ на изменение циклонической активности на ЕЧР весной (в мае) пока не ясен. Предположительно, КДЦ влияет на положение критической (для стационарных ультрадлинных волн Россби) линии смены знака зонального потока, и следовательно, особенностей меридионального распространения таких волн.

Увеличение количества осадков и сокращение частоты сильных и экстремальных засух в мае – начале июня в зерновой зоне ЕЧР в период западной фазы объясняет средний рост урожайности зерновых культур в этот период (рис. 5). Положительно влияет на повышение урожайности в западную фазу также более высокие запасы снега в начале весны. Следует отметить,

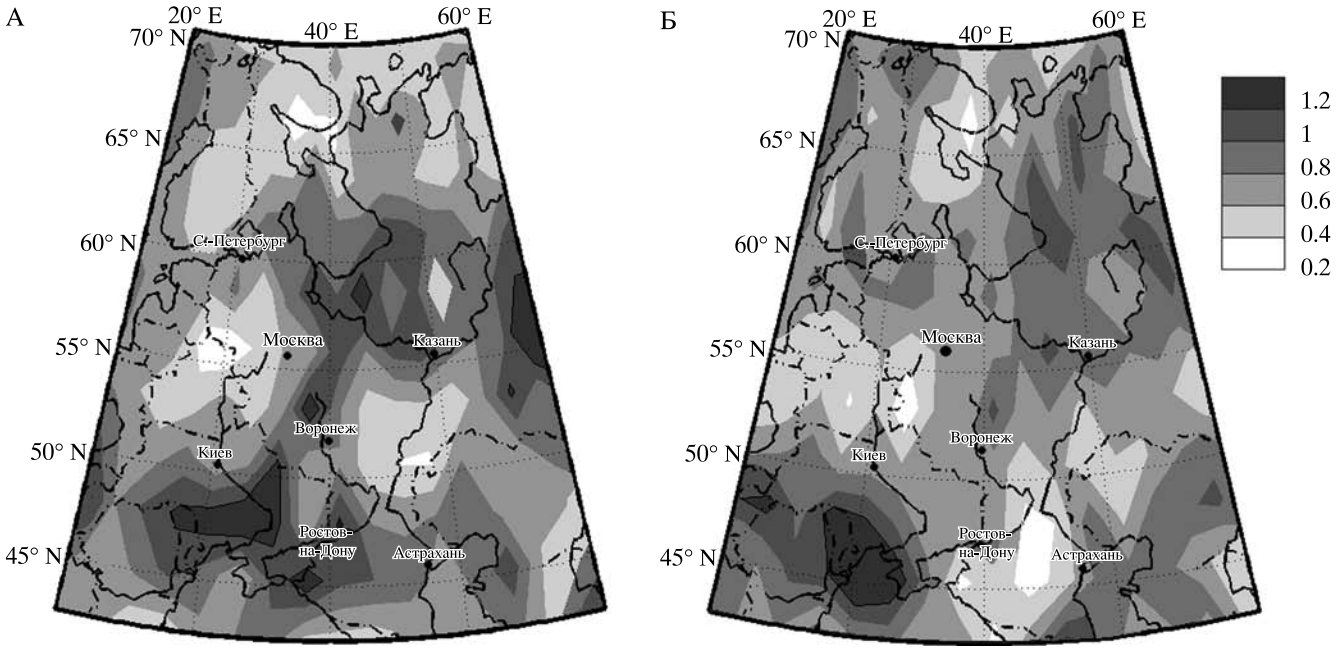

Рис. 4. Повторяемость циклонов (число индикатора центров циклона над ячейкой сетки 5×5º) в мае в годы западной (А) и восточной (Б) фаз КДЦ.

что локализация районов с повышенными урожаями в западную фазу очень мало изменилась по сравнению с периодами 1953–1984 гг. [1] и 1953–1990 гг. [2].

Наибольший рост областной урожайности яровой пшеницы отмечался в западных областях ЕЧР (Брянской – 36%, Белгородской – 26%, Ростовской – 27%, Волгоградской – 24%, Воронежской – 23%), снижаясь по мере продвижения к северо-востоку (рис. 5А). Озимая пшеница также демонстрирует большую урожайность в годы западной фазы КДЦ, чем восточной. Однако анализ пространственного распределения роста урожайности озимой пшеницы позволяет предположить отсутствие четкой его связи с распределением сильных засух на ЕЧР в мае – июне и наличие фактора увлажнения в осенний период и перезимовки. Наибольший рост урожайности озимой пшеницы в годы западной фазы КДЦ с 1953 г. по 2011 г. отмечался в республике Татарстан – 21.8%, в Ульяновской – 21.3%, в Кировской и Владимирской областях – 20% (рис. 5Б). Пространственное распределение увеличения урожайности ярового ячменя в период 1958–2011 гг. при сравнении противоположных фаз КДЦ также согласуется с распределением знака изменений частоты атмосферных засух. Однако это соответствие несколько хуже, чем для урожайности яровой пшеницы. Наибольший рост урожайности ярового ячменя в годы западной фазы КДЦ с 1958 по 2011 гг. наблюдался в республике Башкортостан – 30.2%, в Ростовской области – 28.3%, Рязанской области – 26.8%, в республике Калмыкия – 26.9% (рис. 5В).

Сравнение изменения урожайности яровой и озимой пшеницы в разные фазы КДЦ показало, что прирост урожайности яровой пшеницы в годы западной фазы КДЦ больше, чем рост урожайности озимой пшеницы в Центрально-Черноземном районе на 3–10%, а на юге ЕЧР – на 5–12% (рис. 5Г).

Разработана новая статистическая модель областной урожайности яровой пшеницы с учетом влияния “классической” КДЦ [6]. Моделирование урожайности яровой пшеницы было проведено на примере Ростовской области в связи с тем, что в период 1953–2010 гг. на территории области наблюдалась наилучшая согласованность рассмотренных изменений частоты засухи и урожайности в различные фазы КДЦ. В результате применения пошагового отбора предикторов на обучающей выборке 1995–2010 гг. были получены два уравнения для урожайности яровой пшеницы в период: с использованием в качестве исходного набора предикторов только метеорологических параметров и с использованием метеорологических параметров и КДЦ (все значения переменных относятся к периоду с сентября предыдущего года по июнь оцениваемого). Не останавливаясь на перечислении предикторов уравнений, отметим, что в оба уравнения входят весенние осадки за отдельные декады, а в уравнение с КДЦ –

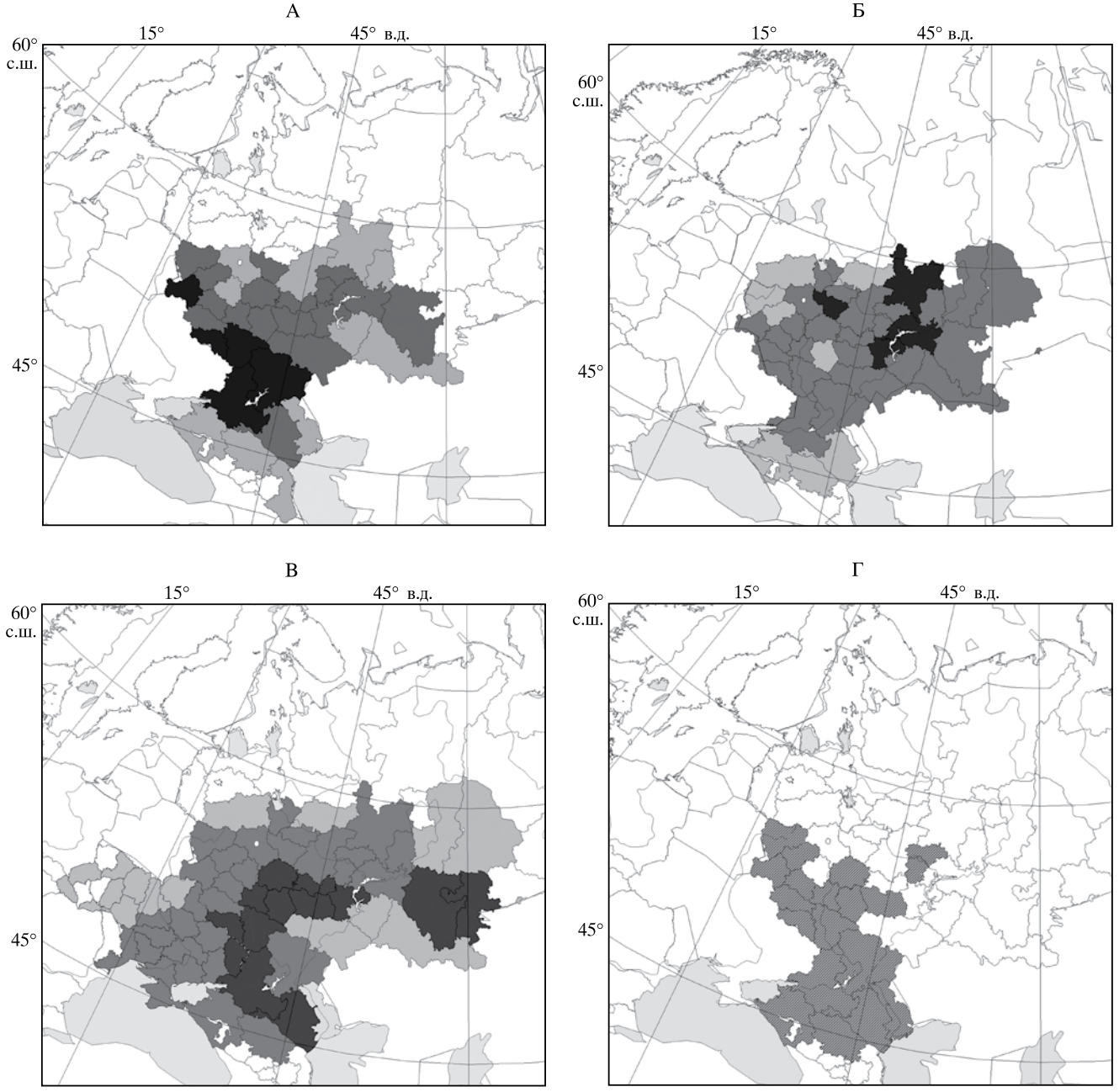

Рис. 5. Изменение урожайности на ЕЧР в годы западной фазы КДЦ по сравнению с годами восточной фазы: яровой (А) и озимой (Б) пшеницы в период 1953–2011 гг., ярового ячменя в период 1958–2011 гг. (В), прирост урожайности яровой пшеницы по отношению к урожайности озимой (Г).
Темно-серым цветом заштрихованы области положительных изменений, превышающие 20%, серым цветом – от 10 до 20%, светло-серым – до 10%, тонкими черными линиями показаны границы субъектов РФ.

скорость зонального ветра в январе. Обе модели показали очень высокое согласие с данными наблюдений за период 1995–2010 гг. (рис. 6): в первом случае коэффициент детерминации R2 равен 0.96 при стандартной ошибке 1.02; при учете КДЦ коэффициент детерминации немного увеличивается (0.97), а стандартная ошибка уменьшается до 0.90. Модель с использованием КДЦ, однако, показала улучшение на 14% прогноза урожайности для 2011 г. (не входящего в обучающую выборку). Полученное высокое значение коэффициента детерминации, скорее всего, связано с использованием достаточно короткой выборки при большом количестве предикторов. Отметим, что попытка аналогичного моделирования с разделением рассмотренного

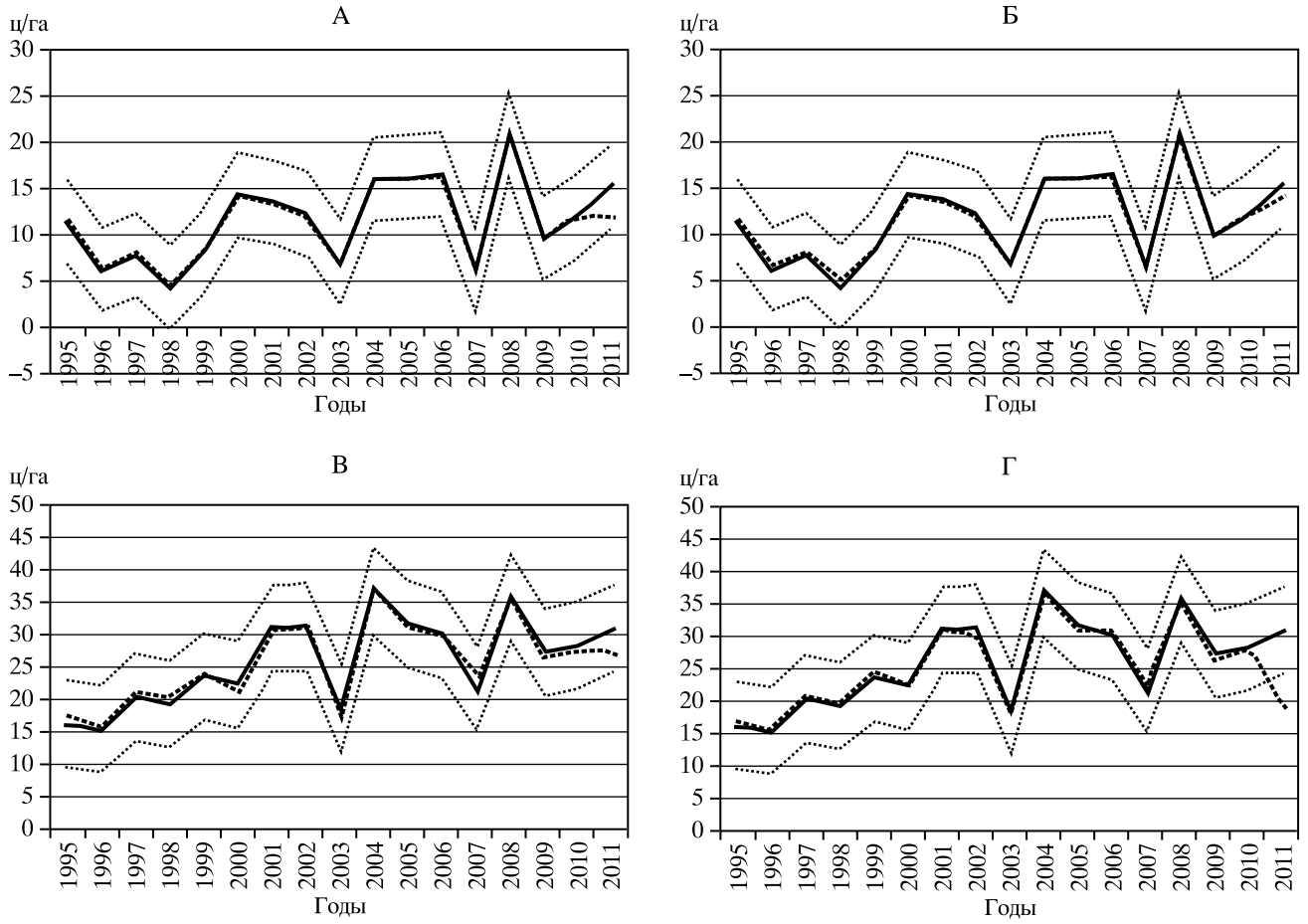

Рис. 6. Динамика среднеобластной наблюденной (сплошная линия) и смоделированной (пунктирная линия) урожайности яровой (А и Б) и озимой (В и Г) пшеницы (ц/га) в период 1995–2011 гг. на территории Ростовской области.
А и В – модель с использованием только метеорологических параметров, Б и Г – модель с использованием метеорологических параметров и КДЦ. Тонкими линиями показан доверительный интервал 0.95.

периода на два и включением в рассмотрение лет только одной фазы не привела к улучшению результата.

Построенная по аналогичному принципу для урожайности озимой пшеницы модель множественной регрессии с применением характеристик КДЦ для территории Ростовской области оказалась менее устойчивой (рис. 6В, Г), что можно объяснить меньшей чувствительностью озимой пшеницы к дефициту осадков в апреле – июне по сравнению с яровой пшеницей и соответственно меньшей зависимостью от фаз КДЦ весной.

Влияние “классической” КДЦ, проявляющееся на территории ЕЧР в увеличении декадных сумм осадков и частоты сильных засух в годы западной фазы КДЦ позволяет сделать предположение о том, что учет скорости зонального ветра в качестве предиктора может улучшить прогностические функции полученных регрессионных уравнений применительно к другим областям ЕЧР. Это относится, в первую очередь, к тем субъектам РФ, для которых имеется хорошая согласованность изменений осадков и частоты атмосферной засухи и урожайности в разные фазы КДЦ.

Для повышения устойчивости сборов урожаев в Центрально-Черноземном районе и на юге ЕЧР важен приоритет расширения посевных площадей яровой пшеницы в западную фазу КДЦ, что может существенно уменьшить сельскохозяйственные риски. При этом величина скорости зонального ветра в приэкваториальной нижней стратосфере, обладающая относительной пространственно-временной стабильностью, может быть использована как предиктор. Однако из-за зависимости урожайности от многих факторов, в особенности от флуктуаций крупномасштабной атмосферной циркуляции, этот вопрос требует дальнейшего исследования.

Заключение. Пространственное разнообразие агроклиматов зернового пояса Европейской части России классифицировано по фазам (западная и восточная) квазидвухлетней цикличности

зонального ветра в приэкваториальной нижней стратосфере (КДЦ). Подтверждена устойчивость локализации районов с повышенными средними урожаями в западную фазу по сравнению с полученными ранее ее оценками за период 1953–1984 гг. и за период 1953–1990 гг.

Показано, что урожайность яровой пшеницы имеет более высокую чувствительность к фазам КДЦ, прирост ее средней урожайности в период западной фазы относительно выше, чем озимой пшеницы. Значимое повышение средней урожайности яровой пшеницы в период западной фазы КДЦ в степных районах Краснодарского края, Ростовской области и Центрально-Черноземных областей объясняется увеличением количества осадков в мае – начале июня и уменьшением частоты сильных и экстремальных засух. Повышенное увлажнение этих районов в западную фазу КДЦ в мае обусловлено повышенной повторяемостью индикатора центров циклонов. В то же время в Среднем Поволжье, Заволжье и на Южном Урале вероятнее наступление повышенной засушливости в мае и июне в период западной фазы, ассоциируемой с развитием мощных обширных антициклонов.

Механизм влияния КДЦ на изменение циклонической активности на ЕЧР весной (в мае) пока не ясен. Предположительно, КДЦ влияет на положение критической (для стационарных ультрадлинных волн Россби) линии смены знака зонального потока, и следовательно, особенностей меридионального распространения таких волн.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что агрометеорологические риски могут быть уменьшены приоритетным использованием яровых зерновых культур в западную фазу КДЦ в степных районах Краснодарского края, Ростовской области и Центрально-Черноземных областей.

В результате статистического моделирования урожайности яровой пшеницы на территории Ростовской области с учетом КДЦ удалось улучшить прогнозируемые значения на 14%. Построенная по аналогичному принципу для урожайности озимой пшеницы модель множественной регрессии оказалась менее устойчивой, что объясняется меньшей чувствительностью озимой пшеницы к дефициту осадков в апреле – июне.

Результаты исследования могут быть использованы для повышения устойчивости урожаев в России (улучшение агрометеорологической практики, включая прогностические аспекты и агрострахование).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Золотокрылин А.Н.* Изменчивость урожайности пшеницы на европейской части СССР в условиях квазидвухлетней цикличности атмосферных процессов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1985. № 2. С. 59–67.
2. *Золотокрылин А.Н., Савина С.С., Хмелевская Л.В., Климакова Е.И.* Реакция урожайности зерновых на короткопериодную изменчивость климата // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1990. № 5. С. 53–66.
3. *Колосков П.И.* Климатический фактор сельского хозяйства и климатическое районирование. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 327 с.
4. *Обухов А.М., Курганский М.В., Татарская М.С.* Динамические условия возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий // Метеорология и гидрология. 1984. № 10. С. 5–13.
5. *Пасов В.М.* О двухлетней цикличности урожаев зерновых культур // Метеорология и гидрология. 1974. № 11. С. 63–65.
6. *Черенкова Е.А., Бардин М.Ю., Золотокрылин А.Н.* Статистика осадков и засух в противоположные фазы квазидвухлетней цикличности атмосферных процессов и ее связь с урожайностью в европейской части РФ // Метеорология и гидрология. 2015. № 3. С. 23–35.
7. *Bradzil B. and Zolotokrylin A.N.* The QBO Signal in Monthly Precipitation Fields over Europe // Theor. Appl.Climat. 1995. Vol. 51. P. 3–12.
8. *Cherenkova E., Semenova I., Bardin M., and Zolotokrylin A.* Drought and Grain Yields over the East European Plain under Influence of Quasibiennial Oscillation of Global Atmospheric Processes // International Journal of Atmospheric Sciences. 2015. ID 932474.
9. *Dai A., Trenberth K.E., and Qian T.* A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming // J. Hydrometeorol. 2004. Vol. 5. P. 1117–1130.
10. *Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., and Joseph D.* The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. Vol. 77. PP. 437–471.
11. *Thom H.C.S.* Some Methods of Climatological Analysis, WMO Technical Note Number 81, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzarland, 1966. 53 p.
12. *Thornthwaite C.W.* An approach toward a rational classification of climate // Geogr. Rev. 1948. Vol. 38. P. 55–94.

Change in Yields of Cereal Crops in European Russia Caused by the Quasi-Biennial Oscillation of Atmospheric Processes

A.N. Zolotokrylin, E.A. Cherenkova, T.B. Titkova, A.Yu. Mikhailov, M.Yu. Bardin, A.V. Shiryaeva, V.V. Vinogradova

Institute of Geography Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: azolotokrylin1938@yandex.ru

The objective of work is to study the influence of quasi-biennial oscillation of atmospheric processes on precipitation and frequency of the spring-summer drought against the background of the statistics of cyclonic and anticyclonic activity in different phases of the quasi-biennial oscillation and, consequently, on the yield of wheat in the European part of Russia. The area of the study is the grain zone of European Russia including the North Caucasus, Central Chernozem zone, Volga region and Southern Urals. The timeseries of values of speed and direction of zonal wind on an isobaric surface of 30 hPa for the period 1953–2011 was accepted as data characterizing the "classical" quasi-biennial (Data of Free University of Berlin, https://climatedataguide.ucar.edu). Decadic precipitation totals, indices of PDSI and SPI, snow depth in March, the frequency of centers of cyclones during the period of vegetation classified by phases of quasi-biennial. The increase of snow depth in March is revealed, as well as significant increase in precipitation and a reduction in the frequency of severe droughts in May associated with the intensification of cyclonic activity during the Western phase in relation to Eastern on a vast territory: the western region of Central Chernozem zone, Rostov region and Krasnodar krai. As a result of changing agro-climatic conditions depending on the phase of the quasi-biennial in the territory, it is found a significant excess of productivity of spring wheat during the Western phase against the Eastern phase. The yield of winter wheat was less sensitive to the quasi-biennial. The results of the study can be used to adequately address the problem of increasing the sustainability of harvests in Russia (improvement of agrometeorological practice, including prognostic aspects, and agroinsurance).

Keywords: QBO, cyclonic activity, precipitation, droughts, grain yields.

doi: 10.15356/0373-2444-2016-2-90-99