

УДК 551.586(045)

*И.А. Смирнов, Е.А. Дронова, А.Г. Бровкин***ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА
ОТ ХАРАКТЕРА КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СТРУКТУР
АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ**

В работе проанализирована связь между средними значениями урожайности озимой пшеницы по пяти областям, входящим в состав Центрально-Черноземного экономического района, и характером глобальной атмосферной циркуляции с применением типизации элементарных циркуляционных механизмов северного полушария Земли, составленной Б.Л. Дзердзеевским. Оценка была произведена за весенне-летний период вегетации рассматриваемой сельскохозяйственной культуры, на основе данных с 1961 по 2020 год. Также, исходя из полученных результатов, был проведен корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности озимой пшеницы от суммарной повторяемости дней с тем или иным типом глобальной атмосферной циркуляции за весенне-летний и весенний периоды вегетации. Отмечено, что снижение урожайности озимой пшеницы по отношению к предыдущему году в рассматриваемых областях характерно при длительном преобладании одного типа глобальной атмосферной циркуляции в Северном полушарии Земли. Приrost же наблюдается, когда суммарно за весенне-летнюю и весеннюю части вегетационного периода отмечается преобладание двух различных типов атмосферной циркуляции.

Ключевые слова: урожайность, продуктивность, озимая пшеница, Центрально-Черноземный экономический район, атмосферная циркуляция, ЭЦМ, корреляционно-регрессионный анализ.

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-1-92-100

Зерновые культуры и, в особенности, озимая пшеница занимают одно из ведущих мест в мировом земледелии и имеют огромное значение, являясь сырьем для производства многих продуктов питания и кормов для домашнего скота. Российская Федерация является одним из мировых лидеров по производству зерна пшеницы и занимает третье место после Китая и Индии [1]. По данным Росстата валовой сбор озимой пшеницы больше чем яровой почти в три раза, урожайность – более чем в два раза, а посевные площади больше всего на 5 % [2]. Центрально-Черноземный экономический район (ЦЧЭР) – один из основных и благоприятных районов для возделывания озимой пшеницы в нашей стране. На его долю, по данным за 2021 год, приходится 17,9 % от валового сбора в России [2]. Высокие урожаи озимой пшеницы в этом экономическом регионе обеспечивают страну продовольствием, а также частично идут на экспорт и, следовательно, участвуют в формировании дохода Российской Федерации. В состав ЦЧЭР входит пять областей: Воронежская, Тамбовская, Липецкая, Курская и Белгородская.

На урожайность (количество центнеров, собранное с одного гектара) озимой пшеницы оказывает влияние множество факторов. Работать с метеорологическими и климатическими факторами затруднительно из-за проблемного прогнозирования на длительное время в виду их постоянной изменчивости. Кроме того, в основном мы не имеем возможность повлиять на них непосредственно, а скорее можем постараться предотвратить их негативное влияние на посевы или же ослабить его. Также, погодно-климатические условия оказывают влияние и на другие факторы, вследствие чего они тоже могут изменить характер своего воздействия на посевы сельскохозяйственных культур. Поэтому важно заблаговременно и как можно точнее оценивать состояние погоды, атмосферы и т. д., чтобы рассмотреть их потенциальное влияние на продуктивность посевов сельскохозяйственных культур и по возможности предпринять защитные или профилактические меры.

В работе рассмотрен вопрос климатической обеспеченности продуктивности озимой пшеницы в течение многолетнего периода с 1961 по 2020 год. Данные о фактической урожайности озимой пшеницы в исследуемом регионе были сопоставлены с отмечавшимися за весенне-летний период вегетации типами глобальных атмосферных циркуляций Северного полушария по классификации Б.Л. Дзердзеевского. Такой анализ многолетних данных дает возможность установить закономерности того, как преобладание тех или иных типов глобальной циркуляции атмосферы в весенне-летний период вегетации влияет на значение урожайности выбранной сельскохозяйственной культуры. Кроме того, оценив частоту

возникновения тех или иных опасных агрометеорологических явлений, можно определить при каких типах глобальной атмосферной циркуляции они зачастую возникают. В связи с чем, при наличии долгосрочных прогнозов циркуляции атмосферы, может появиться возможность для заблаговременного принятия каких-либо мер по защите посевов или повышению урожая определенной сельскохозяйственной культуры.

Таким образом, целью исследования было оценить зависимость урожайности озимой пшеницы на территории ЦЧЭР от характера глобальных атмосферных циркуляций северного полушария Земли. В задачи исследования входил анализ этой зависимости с применением типизации элементарных циркуляционных механизмов Б.Л. Дзердзеевского и методов корреляционно-регрессионного анализа.

Материалы и методы исследования

Колебания погодно-климатических условий региона, а следовательно, и изменчивость урожайности сельскохозяйственных растений, подвержены влиянию атмосферных процессов. Зависимости климата и погоды от колебаний атмосферной циркуляции рассматривались во множестве научных работ, содержащих разные методы классификации атмосферных процессов, и соответствующих способов прогнозирования погоды и изменений климата. Наиболее часто применяются методики классификации атмосферной циркуляции Северного полушария, разработанные Г.Я. Вангенгеймом, А.А. Гирсом, Б.Л. Дзердзеевским [3; 4].

Главным признаком, на основе которого была проведена типизация по методу Б.Л. Дзердзеевского, стало наличие или отсутствие, направление и количество блокирующих процессов во внетропических широтах северного полушария. Помимо этого, в отдельную группу были выделены процессы с циклонической циркуляцией на полюсе. Всего Б.Л. Дзердзеевским было определено 4 группы циркуляций, включающих 13 типов и 41 подтип, или же элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), которые являются основной единицей типизации [4].

ЭЦМ обозначают числом, соответствующим определенному типу глобальной атмосферной циркуляции, и буквой, обозначающей различия ЭЦМ в пределах одного типа с точки зрения направления арктических вторжений и южных циклонов [4]. Более подробно о тех или иных типах ЭЦМ, их смысле и том, каким атмосферным циркуляционным процессам они соответствуют, будет говориться далее по мере необходимости.

Материалами для определения наблюдаемого типа в соответствии с типизацией служили приземные синоптические карты и карты барической топографии (в основном АТ-500, дополнительно АТ-850 и АТ-700) Северного полушария Земли. Определение типа ЭЦМ происходит путем разграничения областей низкого и высокого давления по изолинии 1015 гПа и оценки географического положения определенных областей, а также рассмотрения траекторий внетропических циклонов и арктических вторжений [4].

Уникальность используемой типизации состоит в том, что благодаря наличию схем перемещения барических образований при различных типах ЭЦМ, характеризующих географическое положение и пути движения циклонов и антициклонов в Северном полушарии Земли, имеется возможность оценить характер атмосферных процессов при конкретном типе в любом регионе. Это весьма удобно для анализа территории Российской Федерации.

На сайте [5] представлены работы, посвященные анализу особенностей атмосферных циркуляций, способствующих возникновению опасных природных явлений [6]: экстремальных осадков [4; 7], наводнений [8], экстремально высоких и низких температур [7], атмосферных засух [9], отрицательно сказывающихся на отраслях хозяйственной деятельности, в том числе и на производстве сельскохозяйственной продукции. Кроме того, на сайте [5] размещен календарь последовательной смены ЭЦМ и их групп.

В нашем исследовании оценка климатической обусловленности продуктивности (урожайности) озимой пшеницы и, в частности, ее многолетней изменчивости с точки зрения влияния атмосферных циркуляций произведена по данным весенне-летнего периода вегетации. В это время уже пережившие зиму посевы могут быть подвержены влиянию многих опасных агрометеорологических явлений теплого периода года. В тоже время гидротермический режим, зависящий не только от положения территории в пространстве, но и от характера атмосферных циркуляций, может влиять, как на возникновение этих явлений, так и на развитие вредителей и болезней. Это также может оказать влияние на снижение урожайности.

Данные об урожайности озимой пшеницы за исследуемый период, взятые как средние по каждой из областей ЦЧЭР, были получены в отделе агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России.

Результаты и их обсуждение

Ниже приведены и рассмотрены результаты анализа связи между динамикой средней по областям ЦЧЭР урожайности озимой пшеницы за исследуемые годы и количеством дней с определенным типом ЭЦМ. Подсчет произведен за период с третьей декады марта по первую декаду августа (от возобновления вегетации до уборки) [5], а также за первую декаду марта – конец мая (возобновление вегетации – колошение).

В таблице по годам представлены значения урожайности озимой пшеницы в ц/га и три наиболее часто повторяющихся типа ЭЦМ, в скобках указано количество дней с ними в сумме за рассматриваемые части периода вегетации. Зеленым цветом отмечены года, когда по всем пяти областям наблюдалось повышение урожайности озимой пшеницы по сравнению с предыдущим годом, а голубым соответственно снижение, светло-желтым – года с преобладающим (3–4 области) ростом, а светло-серым – с преобладающим падением урожайности. Для наглядности и компактности в таблице представлен период с 1991 по 2020 год, однако ниже рассмотрены результаты, учитывающие также и период с 1961 по 1990 год.

Динамика средней по области урожайности озимой пшеницы на территории субъектов ЦЧЭР и наиболее часто отмечавшиеся типы ЭЦМ за период с марта по август, с марта по май

| Год | Урожайность, ц/га | | | | | Преобладающие ЭЦМ (число дней за март-август) | Преобладающие ЭЦМ (число дней за март-май) |
|------|-------------------|------------|---------|----------|-------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | Белгородская | Тамбовская | Курская | Липецкая | Воронежская | | |
| 1991 | 26,4 | 27,0 | 23,4 | 30,7 | 30,8 | 13л (68); 12а (12); 2в, 8а (9) | 13л (26); 12а (12); 8а (9) |
| 1992 | 29,5 | 23,3 | 27,0 | 25,8 | 23,7 | 13л (82); 2в (11); 10б (7) | 13л (30); 10б (7); 13з (5) |
| 1993 | 36,4 | 22,1 | 28,7 | 27,0 | 28,2 | 13л (44); 9а (20); 12бл (17) | 12бл (16); 12а (13); 12вл (9) |
| 1994 | 30,9 | 24,0 | 22,1 | 26,7 | 17,4 | 13л (56); 12а (16); 6 (9) | 12а (16); 13з (7); 9а, 12бл (6) |
| 1995 | 15,5 | 10,0 | 16,6 | 13,6 | 17,0 | 12а, 12бл (24); 13л (21); 9а, 10б (15) | 12бл (20); 12а (19); 9а (7) |
| 1996 | 23,6 | 21,0 | 17,8 | 15,0 | 20,9 | 13л (51); 12а (19); 11г (9) | 12а (17); 11г (9); 7ал (7) |
| 1997 | 28,5 | 26,1 | 23,8 | 27,9 | 25,9 | 13л (52); 13з (24); 12а (19) | 13з (24); 12а (14); 13л (12) |
| 1998 | 23,4 | 21,1 | 21,2 | 22,1 | 19,7 | 13л (53); 12а (20); 12бл (14) | 13л (17); 12а, 12бл (10); 9а (7) |
| 1999 | 19,7 | 21,4 | 19,6 | 20,2 | 20,7 | 13л (49); 12вл, 12а (16); 8а (11) | 13л (13); 8а, 12а (8); 12бл (7) |
| 2000 | 20,2 | 18,8 | 17,9 | 16,1 | 20,1 | 13л (72); 9а (16); 12а (9) | 13л (28); 12а (9); 8гз, 9а (7) |
| 2001 | 34,6 | 28,1 | 25,5 | 29,5 | 30,5 | 13л (57); 12а (30); 9а (23) | 12а (26); 9а (12); 13л (11) |
| 2002 | 32,6 | 26,3 | 28,6 | 31,5 | 29,2 | 13л (54); 9а (27); 12а (14) | 13л (19); 9а (14); 12а (12) |
| 2003 | 19,3 | 23,2 | 18,4 | 25,4 | 22,7 | 13л (45); 12а (24); 12бл (12) | 12а (16); 13л (13); 13з (10) |
| 2004 | 27,5 | 21,5 | 24,1 | 28,6 | 24,0 | 13л (33); 12а (17); 9а (11) | 12а (15); 12бл (9); 12вл (6) |
| 2005 | 31,6 | 21,8 | 28,1 | 35,4 | 25,2 | 9а (35); 13л (22); 3 (15) | 9а (15); 13л (13); 3 (7) |
| 2006 | 25,6 | 25,1 | 25 | 28,7 | 20,1 | 13л (32); 9а (22); 12а (21) | 12а (21); 9а (20); 13л (8) |

Окончание табл.

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 2007 | 31,0 | 29,4 | 27,3 | 33,5 | 24,9 | 9а (30); 12бл (22); 13л (20) | 13л (20); 12а (10); 3, 12бл (8) |
| 2008 | 45,2 | 34,3 | 36,6 | 41,8 | 38,4 | 13л (31); 12а (28); 9а (19) | 12а (24); 12бл (9); 13л (8) |
| 2009 | 31,5 | 29,2 | 34,1 | 37,5 | 28,6 | 12а (35); 12бл, 12вл (19); 13л (17) | 12а (16); 12вл, 13л (14); 13з (10) |
| 2010 | 20,7 | 15,7 | 21,7 | 20,5 | 15,4 | 13л (36); 12а (30); 9а (21) | 12а (15); 9а (13); 8гз (7) |
| 2011 | 34,1 | 22,9 | 28,6 | 26,2 | 25,5 | 12а (45); 9а, 12бл, 13л (14); 8а (7) | 12а (25); 8а (7); 8вл (6) |
| 2012 | 31,8 | 20,8 | 30,8 | 23,3 | 26,1 | 12а (38); 13л (30); 9а (23) | 12а (30); 9а (8); 9б (6) |
| 2013 | 40,7 | 34,8 | 32,7 | 36,5 | 28,9 | 13л (49); 12а (32); 9а (15) | 12а (31); 13л (14); 9а, 12г (6) |
| 2014 | 42,9 | 35,9 | 46,1 | 39,1 | 38,8 | 13л (23); 3 (14); 9а, 10б (12) | 10б (8); 13л (7); 4а, 11в, 13з (6) |
| 2015 | 37,7 | 29,0 | 31,4 | 25,2 | 29,1 | 12а (43); 9а (22); 12бл, 13л (20) | 12а (33); 12бл (12); 13л (7) |
| 2016 | 44,9 | 34,6 | 40,9 | 40,4 | 37,4 | 13л (49); 12а (39); 12бл (20) | 12а (35); 12бл (16); 13л (6) |
| 2017 | 52,4 | 44,9 | 53,3 | 44,9 | 45,6 | 13л (53); 12а (30); 9а (18) | 12а (27); 13з (15); 9а (14) |
| 2018 | 44,6 | 35,3 | 45,1 | 42,9 | 35,5 | 13л (63); 12а (25); 12бл (14) | 13л (24); 12а (16); 12бз (5) |
| 2019 | 48,6 | 31,4 | 49,5 | 42,1 | 36,6 | 12а (45); 9а (35); 13л (30) | 12а (40); 9а (8); 12бл (6) |
| 2020 | 54,0 | 48,8 | 56,9 | 55,4 | 44,7 | 13л (23); 12бл (18); 12а (27) | 12а (15); 8а, 12бл (8); 11в (7) |

В результате анализа можно отметить, что ЭЦМ типа 13л входил в тройку наиболее повторяющихся за период с третьей декады марта по первую декаду августа (вегетационный период) в 20 из 22 лет, когда отмечалось повышение урожайности по всем областям, при этом 15 раз такой тип циркуляции отмечался чаще других в исследуемом периоде. Вторым по частоте попадания в тройку для такой ситуации является ЭЦМ типа 12а – 13 раз, он также чаще отмечается именно как второй по повторяемости за вегетационный период (8 раз), а на третье место по повторяемости за год чаще попадал тип 9а (7 раз), он же третий и по попаданию в тройку – 11 раз.

Стоит сказать, что для ЭЦМ типа 13л характерны отсутствие серьезных блокирующих процессов в Северном полушарии Земли и циклоничность над Арктикой. Типу 9а свойственно наличие трех прорывов южных циклонов и двух – трех блокирующих процессов. Эти два типа для юга Европейской России и, в частности, для ЦЧЭР характеризуются установлением над рассматриваемым регионом циркуляции антициклонического характера. Для ЭЦМ типа 12а свойственно наличие четырех арктических вторжений и четырех зон прорыва южных циклонов, одна из которых захватывает и территорию ЦЧЭР. Однако для восточных и юго-восточных регионов при таком типе циркуляции скорее более характерно вторжение арктических антициклонов через Западную Сибирь [4]. На рисунке приведены схематичные изображения этих трех типов ЭЦМ.

Рассматривая аналогично картину в годы, когда по всем пяти областям наблюдалось снижение урожайности озимой пшеницы, видим практически такую же ситуацию – 13л чаще всего попадал в тройку (16 раз из 16 лет) при этом больше других был самым повторяющимся за третью декаду марта – первую декаду августа (12 раз). Тип 12а – чаще второй по повторяемости и попаданию в тройку – 11 раз, из которых 8 раз был на втором месте по числу дней наблюдения за вегетационный период. Но вместо 9а, в качестве третьего по частоте встречаемости является ЭЦМ типа 12бл – 6 раз, 3 из них он был на третьем месте по повторяемости.

Отдельно оценивая годы, в которые по трем-четырем областям наблюдалось схожее по знаку изменение урожайности по сравнению с прошлогодним значением, а по одной-двум – иное, можно наблюдать похожую картину распределения повторяемости ЭЦМ. Однако важно заметить, что в такие годы отрыв типа 13л, лидирующего по частоте встречаемости в тройке наиболее повторяющихся за вегетационный период ЭЦМ, от остальных менее существенен, чем при подсчете за годы с повышением / снижением урожайности по всем областям ЦЧЭР.

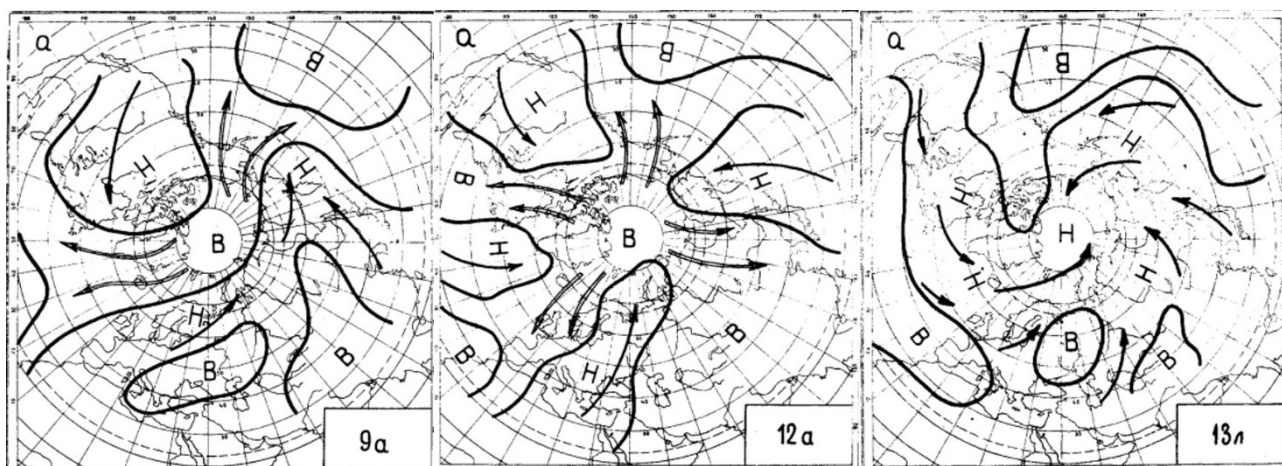


Рис. Элементарные циркуляционные механизмы типов 9а, 12а, 13л.

Исходя из полученных результатов, сложно однозначно сказать о какой-либо тенденции, а закономерность, установленная нами в предыдущих исследованиях на примере Ростовской области [10], вообще выглядит скорее противоположной.

На основе проведенного ранее анализа для Ростовской области был сделан вывод, что рост урожайности озимой пшеницы по сравнению с предыдущим годом, в особенности последние 20 лет, отмечался зачастую при преобладании за период с апреля по май в Северном полушарии Земли ЭЦМ типа 12а, а снижение – при типах 13л и 9а, второй из которых стал чаще отмечаться в XXI веке.

Однако, для такого анализа был использован период с апреля по май, как тот, на который приходится формирование основных продуктивных органов озимой пшеницы. Поэтому в текущем исследовании дополнительно рассмотрим период с третьей декады марта по конец мая. Именно на него, по данным отдела агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России, в среднем последние 20 лет приходится часть вегетационного периода озимой пшеницы от возобновления вегетации весной до колошения.

И, проводя исследование с подобной точки зрения, можно выделить закономерности более близкие к тем, что были отмечены по Ростовской области, а именно: в те годы, когда отмечалось повышение урожайности озимой пшеницы по всем областям, ЭЦМ типа 12а попадал в тройку по повторяемости за период конец марта – май чаще других – 12 раз из 22 лет, причем в большинстве случаев (11 раз) как наиболее часто отмечавшийся за эти месяцы. Это зачастую было характерно и для тех лет, где за весь вегетационный период от возобновления вегетации до уборки чаще отмечался тип 13л. Отмечено 8 таких случаев, при этом большая часть в последние 20 лет.

Аналогичная картина наблюдается и в те годы, когда отмечалось понижение урожайности по всем пяти областям ЦЧЭР, что немногим отличается от результатов, полученных для Ростовской области. ЭЦМ типа 12а опять же попадал в тройку по повторяемости за период конец марта – май чаще других – 13 раз из 16 лет, однако из них был лидером по числу дней наблюдения за рассматриваемый период – 6 раз, и 5 раз – вторым, что не намного больше, чем ЭЦМ типа 13л.

Анализируя повторяемость типов ЭЦМ в годы с преобладающим повышением продуктивности озимой пшеницы в трех-четырех областях ЦЧЭР, стоит отметить, что ЭЦМ типа 13л в такие годы попал в тройку по повторяемости за период с третьей декады марта по первую декаду августа лишь 2 раза из 12 лет. Больше всего раз попадал в тройку ЭЦМ типа 12а – 10 раз. Вторыми по встречаемости среди наиболее повторяющихся за исследуемые месяцы типами ЭЦМ были 12бл и 12вл (по 5 раз). В общих чертах в рамках исследуемой территории они схожи с 12а, но отличаются от него наличием не четырех, а трех зон прорыва южных циклонов и блокирующих процессов в северном полушарии Земли.

Аналогично рассматривая и годы с преобладающим снижением урожайности озимой пшеницы, также фиксируется наибольшее попадание в тройку по повторяемости ЭЦМ типа 12а – 8 раз из 10 лет. Второй по встречаемости среди наиболее повторяющихся ЭЦМ тип 9а – 7 раз.

Однозначно выраженные закономерности колебания значений урожайности озимой пшеницы от года к году на основе их сопоставления с типами атмосферной циркуляции по Б.Л. Дзержевскому трудно проследить. Однако, по итогам проведенного анализа можно отметить, что в последние 20–25 лет преобладающий прирост урожайности озимой пшеницы по сравнению с предыдущим годом чаще

наблюдается при тех условиях, когда весной (последняя декада марта – май) чаще других встречается ЭЦМ типа 12а, причем в целом за период с марта по август зачастую преобладает ЭЦМ типа 13л, который в большей степени приходится на лето.

Снижение же преобладает тогда, когда ЭЦМ типа 13л наиболее часто отмечается как за весь период с марта по август, так и за третью декаду марта – май. Чуть меньшее число раз такое было характерно и для ЭЦМ типа 12а, когда он и за большой, и за малый периоды встречался чаще других. Таким образом, можно сказать, что снижение урожайности озимой пшеницы в областях рассматриваемого экономического района характерно при длительном преобладании одного типа ЭЦМ в Северном полушарии Земли. В результате этого, вероятно установление на данной территории продолжительного антициклонального или же циклонального типа погоды. А это уже может служить возникновению неблагоприятных для вегетации озимой пшеницы условий, и даже вызвать опасные агрометеорологические явления.

В последние 20–30 лет также можно заметить рост числа дней с тем или иным конкретным типом ЭЦМ в различные части вегетационного периода, что особенно характерно для рассмотренных выше типов 9а, 12а и 13л. Поэтому для более наглядной оценки влияния повторяемости этих ЭЦМ на колебания урожайности озимой пшеницы в областях ЦЧЭР с помощью функций Microsoft Excel был осуществлен корреляционно-регрессионный анализ.

В его рамках была оценена линейная зависимость колебаний урожайности по отдельным областям от числа дней с типами ЭЦМ 13л, 12а и 9а. Была рассмотрена как линейная парная регрессия отдельно для каждого из выбранных типов ЭЦМ по двум рассматриваемым частям вегетационного периода, так и множественная с различной комбинацией этих ЭЦМ. Например: зависимость урожайности от числа дней с ЭЦМ типа 13л за конец марта-май (далее по тексту «весна»); от числа дней с ЭЦМ типа 12а за период от последней декады марта до первой декады августа (далее по тексту «весна-лето»); от числа дней с ЭЦМ 12а весной и 9а весной-летом; от 13л весной-летом, 12а весной и 9а весной и т. д. Зависимости были определены для 60-летнего периода с 1961 по 2020 год.

Для всех зависимостей были получены коэффициенты детерминации меньшие, чем 0,5, что свидетельствует о плохом качестве модели. В связи с этим, нами были рассмотрены только те зависимости, которые можно назвать в целом значимыми, то есть те, у которых рассчитанное значение критерия Фишера (F) больше табличного при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Отдельно были выделены зависимости, для которых все посчитанные коэффициенты регрессии, статистически значимы, то есть полученные для них t-критерии Стьюдента больше табличных, при уровне значимости 5% [11]. Также были отмечены те коэффициенты регрессии и константы, которые являются значимыми на выбранном уровне значимости, так как рассчитанные для них программы Р-значения меньше, чем $\alpha = 0,05$ [11].

В общих чертах делая выводы по результатам корреляционно-регрессионного анализа зависимости средней по областям ЦЧЭР урожайности озимой пшеницы от количества дней с ЭЦМ типа 13л, 12а, 9а весной или весной – летом в их различной комбинации можно сделать следующие выводы:

– в целом были получены значимые зависимости (по критерию F, t-критерию Стьюдента, Р-значению на уровне значимости 5%) для Липецкой области – 10 штук (4 от одной переменной, по 3 от двух и трех переменных), для Тамбовской области – 5 штук (4 от одной переменной, 1 от двух переменных), для Воронежской области – 4 штуки (3 от одной переменной, 1 от двух переменных), для Белгородской области – 4 штуки (3 от одной переменной, 1 от трех переменных), для Курской области – 3 штуки от одной переменной;

– чаще других в таких зависимостях в качестве переменной фигурирует число дней с ЭЦМ типа 12а за период весна- лето или за весну;

– практически все (кроме одного) полученные для таких зависимостей коэффициенты регрессии имеют положительный знак, что говорит о том, что при росте числа дней с тем или иным типом ЭЦМ растет и значение урожайности;

– по большей части для зависимостей от двух и трех переменных полученные результаты сопоставимы со сделанным выше выводом о том, что рост урожайности озимой пшеницы чаще отмечается, когда весной преобладает ЭЦМ типа 12а, а в целом за период с марта по август преобладает ЭЦМ типа 13л (реже 9а).

Выводы

В ходе исследования был проведен анализ наличия связи между изменениями урожайности озимой пшеницы в рассматриваемых областях ЦЧЭР и типами глобальной атмосферной циркуляции в

Северном полушарии Земли, классифицированными по типизации Б.Л. Дзердзеевского. Оценка проведена за различные периоды весенне-летней вегетации, в том числе и с помощью корреляционно-регрессионного анализа.

В последние 20–25 лет преобладающий прирост (3–5 областей) урожайности озимой пшеницы по сравнению с предыдущим годом чаще наблюдался в тех условиях, когда весной (последняя декада марта – май) преобладает ЭЦМ типа 12а, при котором через исследуемый регион зачастую пролегал зона выхода одного из южных циклонов. При этом в целом за период с марта по август зачастую преобладает ЭЦМ типа 13л, которому соответствует антициклональный характер погоды.

Снижение же преобладает тогда, когда ЭЦМ типа 13л наиболее часто отмечается как за весь период с марта по август, так и за период третья декада марта – май. Чуть меньшее число раз такое было характерно и для ЭЦМ типа 12а, иногда при этом за весь весенне-летний вегетационный период чаще других мог отмечаться тип 13л. Таким образом, можно заключить, что снижение урожайности озимой пшеницы в областях ЦЧЭР характерно при длительном преобладании одного типа ЭЦМ в Северном полушарии. В результате этого вероятно установление на данной территории продолжительного антициклонального или же циклонального типа погоды, а это уже может служить возникновению неблагоприятных для вегетации условий и опасных агрометеорологических явлений.

В результате корреляционно-регрессионного анализа зависимости средних значений урожайности озимой пшеницы от количества дней с ЭЦМ типа 13л, 12а, 9а весной или весной – летом в их различных комбинациях были получены несколько в целом значимых зависимостей (по критерию Фишера, t-критерию Стьюдента), хотя при этом они и имеют коэффициенты детерминации меньше 0,5. Чаще других в таких зависимостях в качестве переменной выступает число дней с ЭЦМ типа 12а за весну или за весну – лето.

В большей части для зависимостей от двух и трех переменных результаты сопоставимы с сделанным выше выводом о том, что рост урожайности озимой пшеницы чаще наблюдается, когда весной отмечается преобладание ЭЦМ типа 12а, а в целом за период с марта по август – типа 13л (реже 9а).

Полученные в ходе корреляционно-регрессионного анализа зависимости урожайности озимой пшеницы от числа дней с ЭЦМ того или иного типа в те или иные периоды весенне-летней вегетации нельзя считать хорошими, так как у большинства из них коэффициент детерминации меньше 0,5. Повышения качества модели, вероятно, можно добиться увеличением числа переменных, то есть либо рассматривая в совокупности больше отличающихся друг от друга типов ЭЦМ, или же объединяя вместе близкие по сути типы, например, используя совокупно все вариации ЭЦМ 12-ого типа, а не только 12а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапкин А.М., Махотина И.А. К вопросу о состоянии российского зернового рынка // Международная торговля и торговая политика. 2021. Том 7, № 3 (27). С. 133–148.
2. Регионы России. Социально-экономические показатели 2021: Стат. сб. / Росстат. М., 2021. 1112 с.
3. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. Москва. 1968. 240 с.
4. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / отв. ред. Шмакин А.Б. Российская акад. наук, Ин-т географии. Москва: Воентехиниздат, 2009. 372 с.
5. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века. Типизация циркуляции атмосферы Северного полушария по методу Б.Л. Дзердзеевского. URL: <http://atmospheric-circulation.ru/> (дата обращения: 01.03.2022)
6. Крымская О.В., Куралесина С.Ю., Лебедева М.Г. Роль блокирующих антициклонов в формировании опасных гидрометеорологических явлений на юге ЦЧР в начале XXI века // Проблемы региональной экологии. 2013. № 4. С. 128–131.
7. Лебедева М.Г., Крымская О.В. Экстремальность температурного режима в Центрально-Черноземном регионе // Изменения климата, почвы и окружающая среда. Материалы Международного научного семинара (Белгород, 16–19 сентября 2009 г.). Белгород: КОНСТАНТА, 2009. С. 9–16.
8. Кононова Н.К. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в период 1899–2019 гг. и связь с ними опасных природных процессов в Сибири в 2019 году // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск, 25–27 ноября 2020 г.). 2020. С. 27–35.
9. Cherenkova E.A. Drought and grain crop yields over the East European Plain under influence of quasi-biennial oscillation of global atmospheric processes / E.A. Cherenkova, I.G. Semenova, M.A. Bardin, A.N. Zolotokrylin // International Journal of Atmospheric Sciences, 2015, vol. 2015, no 1, pp. 1-11.

10. Смирнов И.А., Дронова Е.А. Оценка связи значений урожайности озимой пшеницы на территории Ростовской области с характером глобальных атмосферных циркуляций в Северном полушарии Земли // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к Году науки и технологий (Иркутск, 24–26 ноября 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 463–468.
11. Кеткина О.С. Возможности MS Excel для регрессионного анализа. Екатеринбург, 2020. 43 с. URL: <https://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/14132> (дата обращения: 18.04.2022)

Поступила в редакцию 20.02.2023

Смирнов Иван Андреевич, аспирант 1 года обучения
направления подготовки Науки об атмосфере и климате
E-mail: ivan-2-2-99@yandex.ru

Дронова Елена Александровна, кандидат географических наук,
доцент кафедры Метеорологии и климатологии
E-mail: edronova@rgau-msha.ru

Бровкин Алексей Геннадьевич, аспирант 1 года обучения
направления подготовки Науки об атмосфере и климате
E-mail: cool1602@yandex.ru

РГАУ-МСХА им К.А. Тимирязева
127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 12 (корп. 18)

I.A. Smirnov, E.A. Dronova, A.G. Brovkin

ASSESSMENT OF THE DEPENDENCE OF WINTER WHEAT YIELD IN THE CENTRAL BLACK EARTH ECONOMIC REGION ON THE NATURE OF LARGE-SCALE CIRCULATION STRUCTURES OF THE ATMOSPHERE OF THE NORTHERN HEMISPHERE

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-1-92-100

The relationship between the average values of winter wheat yields in five regions that are part of the Central Black Earth Economic Region and the nature of global atmospheric circulation was analyzed using the typification of elementary circulation mechanisms of the northern hemisphere of the Earth, compiled by B.L. Dzerdzeevsky. The assessment was made for the spring-summer vegetation period of the crop in question, based on data from 1961 to 2020. Also, based on the results obtained, a correlation and regression analysis of the dependence of winter wheat yield on the total repeatability of days with one or another type of global atmospheric circulation for the spring-summer and spring periods of vegetation was carried out. It is noted that the decrease in the yield of winter wheat in relation to the previous year in the regions under consideration is characteristic of the long-term predominance of one type of global atmospheric circulation in the Northern Hemisphere of the Earth. The increase is observed when, in total, during the spring-summer and spring parts of the vegetation period, there is a predominance of two different types of atmospheric circulation.

Keywords: yield, productivity, winter wheat, Central Black Earth Economic Region, atmospheric circulation, ECM, correlation and regression analysis.

REFERENCES

1. Agapkin A.M., Makhotina I.A. [The state of the Russian grain market], in *Mezhdunarodnaya trgovlya i trgovaya politika [International trade and trade policy]*, 2021, vol. 7, no. 3 (27), pp. 133-148 (in Russ.).
2. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli 2021: Stat. sborn.* [Regions of Russia. Socio-economic indicators 2021. Stat. collection] / Rosstat, Moscow, 2021, 1112 p. (in Russ.).
3. Dzerdzeevskiy B.L. *Tsirkulyatsionnye mekhanizmy v atmosfere Severnogo polushariya v XX stoletii* [Circulation mechanisms in the atmosphere of the Northern Hemisphere in the XX century], in *Materialy meteorologicheskikh issledovaniy*, Moscow, 1968, 240 p. (in Russ.).
4. Kononova N.K. *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeevskomu* [Classification of circulation mechanisms of the Northern hemisphere according to B. L. Dzerdzeevsky], Shmakina A.B. (ed), Russian Academy of Sciences, Institute of Geography, Moscow: Voentehinizdat, 2009, 372 p. (in Russ.).
5. *Kolebaniya tsirkulyatsii atmosfery Severnogo polushariya v KhKh – nachale KhKhI veka. Tipizatsiya tsirkulyatsii atmosfery Cevernogo polushariya po metodu B.L. Dzerdzeevskogo* [Fluctuations in the circulation of the atmosphere of the Northern hemisphere in the XX-early XXI century. Typification of the circulation of the atmosphere of the

- Northern hemisphere by the method of B.L. Dzerdzeevsky] / Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow. Available at: <http://atmospheric-circulation.ru/> (accessed 01.03.2022) (in Russ.).
6. Krymskaja O.V., Kuralesina S.J., Lebedeva M.G. [The role of blocking anticyclone in shaping hydrometeorological hazards the south of Central-Zhernozem region in early XXI century], in *Problemy regional'noy ekologii*, 2013, no. 4, pp. 128-131 (in Russ.).
 7. Lebedeva M.G., Krymskaya O.V. *Ekstremal'nost' temperaturnogo rezhima v Tsentral'no-Chernozemnom regione* [Extreme temperature conditions in the Central Black Earth Region], in *Mater. Mezhd. nauch. seminara "Izmeneniya klimata, pochvy i okruzhayushchaya sreda"*. (Belgorod, 16-19 September 2009), Belgorod: KONSTANTA Publ., 2009, pp. 9-16 (in Russ.).
 8. Kononova N.K. *Kolebaniya tsirkulyatsii atmosfery Severnogo polushariya v period 1899–2019 gg. i svyaz' s nimi opasnykh prirodnykh protsessov v Sibiri v 2019 godu* [Fluctuations in the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere in the period 1899-2019 and the connection with them of dangerous natural processes in Siberia in 2019], in *Mater. III Vseross. nauch.-prakt.konf. "Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii"* (Irkutsk, 25-27 November 2020) , Irkutsk, pp. 27-35 (in Russ.).
 9. Cherenkova E.A., Semenova I.G., Bardin M.A., Zolotokrylin A.N. Drought and grain crop yields over the East European Plain under influence of quasi-biennial oscillation of global atmospheric processes, in *International Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 2015, no. 1, 2015, pp. 1-11.
 10. Smirnov I.A., Dronova E.A. *Otsenka svyazi znacheniy urozhaynosti ozimoy pshenitsy na territorii Rostovskoy oblasti s kharakterom global'nykh atmosferynykh tsirkulyatsiy v Severnom polusharii Zemli* [Assessment of the relationship of winter wheat yield values in the Rostov region with the nature of global atmospheric circulations in the Northern hemisphere of the Earth], in *Mater. IV Vseross. nauch.-prakt. konf., priuroch.k Godu nauki i tekhnologii "Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii"* (Irkutsk, 24-26 November 2021), Irkutsk: IGU, 2021, pp. 463-468 (in Russ.).
 11. Ketkina O.S. *Vozmozhnosti MS Excel dlya regressionnogo analiza* [Features of MS Excel for regression analysis], Ekaterinburg, 2020, 43 p. Available at: <https://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/14132> (accessed 18.04.2022) (in Russ.).

Received 20.02.2023

Smirnov I.A., postgraduate student of the field of study Atmospheric and climate sciences
E-mail: ivan-2-2-99@yandex.ru

Dronova E.A., Candidate of Geography, Associate Professor of the Department of Meteorology and Climatology
E-mail: edronova@rgau-msha.ru

Brovkin A.G., postgraduate student of the field of study Atmospheric and climate sciences
E-mail: cool1602@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Pryanishnikova st., 12/18, Moscow, Russia, 127434