

УДК 631. 57

## ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А. В. КЛОЧКОВ, О. Б. СОЛОМКО, О. С. КЛОЧКОВА

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 18.01.2019)

*Климатические условия оказывают существенное влияние на условия развития растений и их урожайность. В различных регионах Беларуси складываются свои условия погоды. По количеству выпадающих осадков основная часть территории страны относится к зоне достаточного увлажнения, только южная и юго-восточная части принадлежат к зоне неустойчивого увлажнения. За период активной вегетации растений выпадает в среднем 300–400 мм осадков. Однако в отдельные годы количество осадков может сильно отличаться от средних многолетних данных. Характерна неравномерность выпадения осадков и по регионам, наименьшее количество их обычно приходится на юг Гомельской области. Значительное влияние на развитие растений оказывает и температура воздуха, которая также подвержена глобальным и региональным изменениям. Оценка общего влияния погодных факторов вегетационного периода на урожайность основных видов возделываемых сельскохозяйственных культур имеет важное практическое значение при выборе основных приемов агротехники, особенно сроков сева и посадки.*

**Ключевые слова:** температура воздуха, осадки, урожайность, анализ урожайности.

*Environmental conditions make doubtless impact on conditions of development of plants and their productivity. In various regions of Belarus there are conditions of weather. By quantity of dropping out deposits of a condition of republic concern a zone of sufficient humidifying, only southern and southeast parts belong to a zone of unstable humidifying. During active vegetation of plants 300-400 mm of deposits drop out on the average. However in separate years the amount of precipitation can strongly differ from the average long-term data. Non-uniformity of loss of deposits and on regions is characteristic, their least quantity usually is necessary on the south of the Gomel area. Considerable influence on development of plants is rendered also by temperature of air which also is subject to global and regional changes. The estimation of the general influence of weather factors of the vegetative period on productivity of principal views of cultivated agricultural crops has important practical value at a choice of the basic receptions agricultural technicians, especially sowing and landing terms.*

**Key words:** air temperature, deposits, productivity, the productivity analysis.

### Введение

В XX в. сложилась устойчивая тенденция потепления климата на планете, обусловленная глобальными процессами, связанными с естественными и антропогенными факторами. К настоящему времени под эгидой Всемирной метеорологической организации и Программы ООН по окружающей среде разработано несколько перспективных сценариев таких изменений. Все они указывают на глобальное потепление климата в текущем столетии и различаются между собой только величиной ожидаемого роста температуры (0,1–0,2 °С за десятилетие). Подобные темпы являются самыми высокими за последние 10 тыс. лет. По данным различных оценок, средняя глобальная температура повысится по сравнению с современным состоянием примерно на 1 °С к 2025 г. и на 3 °С к концу столетия. На фоне общего потепления резко возрастут внутrigодовые (межсезонные) и межгодовые колебания температуры и осадков. Для северного полушария наиболее вероятные величины потепления к концу столетия составят 3–5 °С, что несколько превышает значения показателей глобального потепления [1–3].

По прогнозам белорусских ученых, при наиболее реальном сценарии увеличения выбросов парниковых газов и содержания аэрозолей в атмосфере средняя годовая температура повысится приблизительно на 1 и 2 °С соответственно для временных срезов 2010–2039 гг. и 2040–2069 гг. Величина роста минимальных температур (ночных и зимних) будет на 20–30 % выше. Наибольшие потери от неблагоприятных погодных и климатических условий понесет сельское хозяйство – около 70 % от общих потерь. В целом для территории Беларуси влияние климата на урожайность оценивается для озимых в пределах 22–38 %, яровых – 35–81 % [4, 5].

В последние годы наблюдается увеличение числа экстремальных климатических явлений (засух, заморозков, наводнений, теплых зим). Зависимость сельского хозяйства от климата, если судить по абсолютным потерям, за это время возросла. Повторяемость засух увеличивается при продвижении с севера на юг территории Беларуси. В Гомельской области повторяемость засух с площадью охвата территории не менее 30 % составляет 44

%, т. е. один раз в два года, в Брестской – один раз в два–три года. Снижение урожайности озимой ржи и ярового ячменя – явление довольно частое и происходит в основном из-за засушливости, переувлажнения или сильных заморозков. Причем вероятность повреждения яровых культур из-за засух существенно выше по сравнению с озимыми. Наибольшие потери урожайности от засушливых условий наблюдаются на песчаных и супесчаных почвах в Гомельской и на юге Могилевской областей. От переувлажнения в весенне–летний период больше страдают районы с тяжелыми суглинистыми и глинистыми почвами, особенно в Витебской и Могилевской областях. Потери урожая из-за неблагоприятных погодных условий в отдельные годы могут достигать 50–65 % по отношению к максимально возможным. Начиная примерно с 1987 г. наблюдается установление положительных температур (выше 0 °С, но ниже +5 °С) ранней весной (март) и сохранение их в течение длительного периода. Поэтому в ряде южных районов страны посев яровых зерновых в очень ранние сроки часто приводит к затягиванию появления всходов, в некоторых случаях всходы при таких ранних сроках сева повреждаются заморозками.

Погодные условия способны оказывать существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур в Беларуси. Рассчитанные статистические характеристики общей климатической и технологической изменчивости урожайности зерновых культур показывают, что в целом для территории Беларуси вклад климата в общую дисперсию урожайности составляет от 22 до 81 % [5]. За последние два десятилетия отмечается увеличение климатической изменчивости урожайности озимой ржи по всем областям. У ярового ячменя подобной тенденции не отмечено. Учитывая, что развитие ярового ячменя и озимой ржи в вегетационный период происходит при одинаковых погодных условиях, можно сделать вывод, что увеличение показателя изменчивости урожайности озимой ржи за последние два десятилетия, по всей вероятности, вызвано изменением климатических условий зимнего периода (теплые зимы, ранние весны и др.). Потери урожайности от неблагоприятных погодных условий в отдельные годы в различных областях Беларуси по отношению к средней урожайности могут достигать 45–50 % для ярового ячменя и 35–40 % для озимой ржи. Анализ динамики урожайности зерновых культур за последние 30 лет показывает, что произошедшее в конце 1970-х гг. изменение климатических условий привело к снижению урожайности, несмотря на улучшение в тот период агротехники. Климатические условия с 1984 до 1990 г. на фоне высокой агротехники способствовали росту урожайности, и, наконец, с начала 1990-х гг. отмечается вторичное падение урожайности, вызванное как ухудшением климатических условий, так и снижением уровня агротехники. С повышением культуры земледелия, внедрением сортов интенсивного типа урожайность сельскохозяйственных культур в целом повышается, но и колебания ее по годам увеличиваются [6].

Снижение урожайности – явление довольно частое и происходит в основном из-за засушливых условий, переувлажнения или сильных заморозков. На фоне изменения средних климатических условий, приведших к колебаниям урожая в пределах 10–20 %, влияние экстремальных климатических условий может превышать эту цифру в 2–3 раза и достигать 30–60 %. Прогнозируется, что в будущем климатические явления будут сильнее влиять на успешность ведения сельского хозяйства [5].

Предварительный анализ температурного режима за период май–август в последние годы выявил тенденцию увеличения количества дней с максимальной температурой воздуха > 25 °С, особенно в южной части Беларуси. Аналогичная тенденция отмечается и для числа сухих (с относительной влажностью 30 % и менее) дней. Примерно с 1987 г. наблюдается более ранний переход температуры воздуха через 0 °С весной. В то же самое время предварительные исследования динамики сроков начала вегетации (переход температуры воздуха через 5 °С) не показывают явной тенденции к изменению, т.е. речь идет о тенденции к удлинению периода перехода температуры воздуха через 0 °С до 5 °С [6].

Проведены исследования [5] по зависимости урожайности пяти сельскохозяйственных культур (рожь, ячмень, овес, картофель, кукуруза на силос) от климатических факторов за период 2001–2003 гг. на примере административных районов. Результаты показали, что многое зависит от видов возделываемых культур. Озимая рожь является самой

холодостойкой и морозостойкой культурой из озимых зерновых. Для появления всходов нужна невысокая температура осенью (6–12 °С). Хорошее развитие и успешная перезимовка обеспечиваются при достаточном количестве влаги и продолжительности осенней вегетации (от всходов до устойчивого снижения температуры воздуха ниже 5 °С) не менее 45 дней. Весной озимые культуры должны быть хорошо обеспечены влагой в период активного роста (фазы выход в трубку-колошение, ДК 30–50) и не попадать под воздействие заморозков. Оптимальные условия для цветения и созревания зерна создаются при температуре 18–25 °С и умеренном количестве осадков. Недостаток влаги в сочетании с высокой температурой воздуха (выше 25 °С), также как и обильные дожди во время цветения, приводят к череззернице колоса и снижению урожайности.

У яровых зерновых минимальная температура для появления всходов – прогревание почвы до 405 °С, что является началом посевных работ. Всходы переносят заморозки в -5–7 °С. В начальный период развития и фазу кущения зерновым нужна невысокая температура воздуха 10–15 °С и хорошее увлажнение почвы. Посевы ранних сроков сева могут попадать под воздействие заморозков, поздних – испытывать воздействие повышенной температуры и недостатка влаги в период кущения и активного роста растений (ДК-21-50). В засушливых условиях в это период яровые зерновые слабо кустятся, образуют изреженный стеблестой.

Показатели средних сезонных температур воздуха и осадков в разных регионах в целом слабо коррелируют между собой, их взаимная детерминированность не превышает 20 %. Такое положение объясняется тем, что выбранные три года (2001–2003 гг.) по режиму температуры и осадков трех теплых вегетационных сезонов очень сильно различаются между собой. При оценке корреляции урожайности со средней годовой температурой установлена слабая положительная корреляционная зависимость, на уровне сезонов года ситуация более сложная и неоднозначная. Коэффициенты корреляции низкие (от 0,03 до 0,32), что объясняет от 0,01 до 10 % варибельности урожайности (на уровне страны в целом). Урожайность озимой ржи положительно коррелирует с температурой воздуха весной ( $R = 0,32$ ). При этом летняя температура воздуха не коррелировала с урожайностью. Летние осадки в многолетнем разрезе не лимитировали урожайность озимой ржи ( $R \approx -0,03$ ). Таким образом, урожайность озимой ржи в многолетнем аспекте положительно коррелирует с температурой воздуха и отрицательно, но слабо – с суммой атмосферных осадков весеннего сезона. Температура и осадки в летний сезон не оказывали статистически значимого воздействия на урожайность.

Для летнего периода линейная модель «урожайность ярового ячменя – температура воздуха» объясняет лишь 2,6 % варибельности данных при отрицательной корреляции, равной -0,16. Корреляция в паре «урожайность – суммы атмосферных осадков» отсутствует.

Регрессионные линейные модели по трем сезонам (2001–2003 гг.) объясняют от 4 до 16 % урожайности озимой ржи, атмосферные осадки определяют не более 10 % ее урожайности. Для ячменя и овса коэффициент детерминации не превышает 5 %. Урожайность картофеля связана с весенними осадками примерно на 6 %, на 10 % – с летними температурами, но не наблюдалась связь с летними осадками. Линейные модели для кукурузы на силос аналогичны таковым для картофеля, однако оценки систематически ниже, кроме зависимости от летних осадков. Средние соотношения для 2001–2003 гг. детерминации изменчивости урожайности пяти основных культур (озимая рожь, яровой ячмень, овес, картофель, кукуруза на силос) распределяются по факторам «почва – климат – удобрения» в процентах следующим образом: 34:28:37, что в сумме дает 99 %. Для временного периода 1960–2003 гг. обобщенные интервальные оценки составляют следующие доли изменчивости урожайности: почвенные показатели вносят до 25 %, климатический фактор – 36 %, минеральные и органические удобрения – 39 %. Однако анализируемые факторы носят общий характер и не позволяют сформулировать практические рекомендации по совершенствованию приемов агротехники.

#### **Основная часть**

Анализ влияния погодных условий на урожайность основных возделываемых в Беларуси сельскохозяйственных культур проведен на основании рассмотренных предпосылок и накопленного опыта [7,8]. Были рассмотрены следующие действующие

факторы с учетом ранее полученных коэффициентов корреляции с урожайностью зерновых и зернобобовых культур: 1) температура за период апрель–май – 0,918; 2) температура за апрель – 0,879; 3) температура в 3 декаде апреля – 0,756; 4) осадки за апрель – 0,605; 5) температура за июнь – 0,545; 6) осадки за май–июнь – 0,500; 7) осадки в мае – 0,457; 8) осадки во 2 декаде мая – 0,403; 9) осадки в июне – 0,380; 10) осадки во 2 декаде апреля – 0,364; 11) осадки во 2 декаде июня – 0,348; 12) температура в 3 декаде июня – 0,342; 13) температура во 2 декаде апреля – 0,314; 14) температура за апрель–июнь – 0,310.

При выборе анализируемых факторов исходили из повышенной потребности растений во влаге и температуре в определенные фазы развития: озимые зерновые – май; яровые зерновые, картофель, лен – июнь; кукуруза – июль.

Кроме того, для всех культур важны метеоусловия апреля, особенно в связи с более ранними сроками сева в результате потепления климата. Поэтому для дальнейшего анализа были выбраны следующие факторы в порядке их предполагаемой значимости: 1) средняя температура апреля –  $X_1$ ; 2) сумма осадков за май –  $X_2$ ; 3) сумма осадков за апрель –  $X_3$ ; 4) средняя температура мая –  $X_4$ ; 5) сумма осадков за июнь –  $X_5$ ; 6) средняя температура июня –  $X_6$ .

По всем указанным факторам проведен анализ их влияния на урожайность зерновых и зернобобовых культур  $Y_1$ , кукурузы на зерно  $Y_2$  и зеленую массу  $Y_6$ , маслосемян озимого  $Y_7$  и ярового рапса  $Y_8$ , а также свеклу  $Y_3$ , картофель  $Y_4$  и лен (льнотреста)  $Y_5$ . Исходные данные для анализа корреляций приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения анализируемых погодных факторов по областям Республики Беларусь (2018 г.)

Области	Факторы					
	$X_1$ средняя температура апреля, °С	$X_2$ сумма осадков за апрель, мм	$X_3$ средняя температура мая, °С	$X_4$ сумма осадков за май, мм	$X_5$ средняя температура июня, °С	$X_6$ сумма осадков за июнь, мм
Брестская	13,1	49	17,7	41	19,4	65
Витебская	8	65	14,3	120	14,3	113
Гродненская	11,8	71	16	56	17,4	33
Гомельская	11,1	21	18,5	21	19,2	67
Минская	11	31	17,5	53	17,8	47
Могилевская	11,2	21	18,6	21	19,2	67

Уборка урожая в 2018 г. проводилась в плановые сроки по мере созревания возделываемых культур (рис.). Первыми убирались посевы озимого рапса и завершалась уборка выкопкой корнеплодов сахарной свеклы.

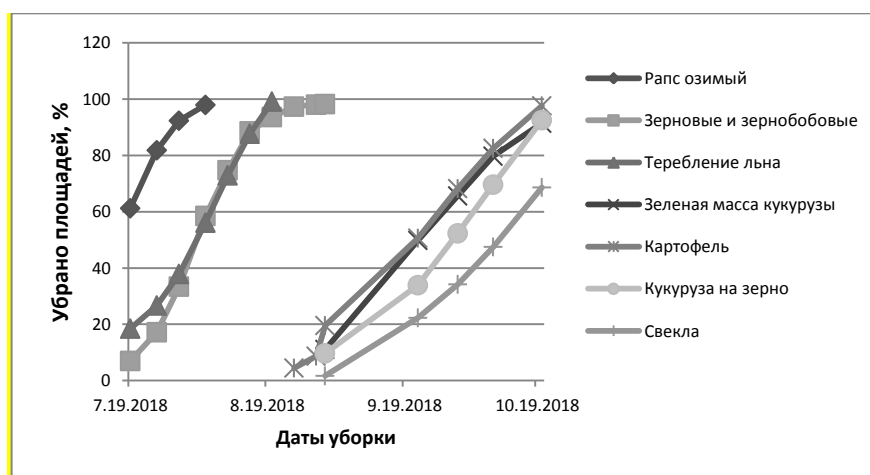


Рис. Динамика уборки основных сельскохозяйственных культур в 2018 году

Полученные средние результаты по урожайности возделываемых культур анализировались по областям (табл. 2).

Таблица 2. Средняя урожайность сельскохозяйственных культур по областям Республики Беларусь

Области	Урожайность на дату, ц/га							
	$Y_1$ зерновые и зерно-бобовые	$Y_2$ зерно кукурузы	$Y_3$ сахар-ная свекла	$Y_4$ карто-фель	$Y_5$ льно-треста	$Y_6$ зеленая масса кукурузы	$Y_7$ семена озимого рапса	$Y_8$ семена ярового рапса

	05.09.2018	25.10.2018	25.10.2018	25.10.2018	13.10.2018	25.10.2018	08.09.2018	15.09.2018
Брестская	28,9	84,5	423,6	291	24,8	253,6	19,8	17,4
Витебская	25,1	80,5	0	311,6	32	269	13,2	13,3
Гродненская	28,8	103,7	497,5	267,9	24,4	302,1	21,4	17,3
Гомельская	20,1	71,5	0	204,4	26,9	211,8	10	0
Минская	28	88,7	448,6	284,1	24,1	262	17,1	18,6
Могилевская	26,2	76,1	449	263	33,4	278,3	13,4	17

В результате дальнейшего анализа имеющихся данных были получены матрицы корреляций по всем анализируемым культурам. Затем были выбраны наиболее значимые показатели с положительным действием на урожайность и указанием степени влияния (табл. 3).

В соответствии с полученными данными можно заключить, что в 2018 году наибольшее положительное влияние на урожайность основных возделываемых сельскохозяйственных культур оказало выпадение осадков в апреле.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции погодных факторов с урожайностью сельскохозяйственных культур

Культура	Апрель		Май		Июнь	
	температура	осадки	температура	осадки	температура	осадки
Зерновые и зернобобовые	0,373	0,484		0,159		
Кукуруза на зерно	0,257	0,699		0,228		
Кукурузу на зеленую массу		0,597		0,324		
Рапс озимый	0,535	0,601				
Рапс яровой	0,187	0,366		0,212		
Сахарная свекла	0,655		0,286		0,417	
Картофель		0,598		0,724		0,335
Лен (льнотреста)				0,208		0,698
Среднее по культурам	0,4014	0,5575		0,3092		0,5165

Это является следствием происходящих климатических изменений и отражает растущую потребность растений во влаге в ранневесенний период. Также важным фактором является и температура воздуха в апреле. Третьим по значимости фактором явилось выпадение осадков в мае. Для сахарной свеклы наиболее значимыми оказались факторы температуры в апреле и июне, а для картофеля – выпадение осадков в течение всех трех месяцев. Для льна более важное значение имели осадки в июне и мае.

В результате регрессионного анализа исследуемых взаимосвязей были получены следующие уравнения: зерновые и зернобобовые –  $Y_1 = -7,116 + 2,571 X_1 - 0,024 X_2 + 0,114 X_4$  ( $R = 0,778$ ;  $R^2 = 0,606$ ); кукуруза на зерно –  $Y_2 = 46,903 + 1,864 X_1 + 0,471 X_2 - 0,068 X_4$  ( $R = 0,812$ ;  $R^2 = 0,659$ ); сахарная свекла –  $Y_3 = -830,644 + 385,639 X_1 + 409,649 X_3 - 566,232 X_5$  ( $R = 0,839$ ;  $R^2 = 0,703$ ); картофель –  $Y_4 = 237,168 + 0,120 X_2 + 0,749 X_4 - 0,168 X_6$  ( $R = 0,736$ ;  $R^2 = 0,542$ ); льнотреста –  $Y_5 = 20,639 - 0,038 X_4 + 0,137 X_6$  ( $R = 0,749$ ;  $R^2 = 0,561$ ); кукуруза на зеленую массу –  $Y_6 = 227,788 + 1,033 X_2 - 0,181 X_4$  ( $R = 0,617$ ;  $R^2 = 0,380$ ); рапс озимый –  $Y_7 = -10,199 + 1,784 X_1 + 0,147 X_2$  ( $R = 0,902$ ;  $R^2 = 0,813$ ); рапс яровой –  $Y_8 = -45,550 + 4,640 X_1 - 0,110 X_2 + 0,251 X_4$  ( $R = 0,597$ ;  $R^2 = 0,356$ ). Полученные уравнения позволяют заключить, что с достаточно высокой степенью значимости (0,356–0,813) уровень урожайности основных сельскохозяйственных культур можно спрогнозировать с учетом средней температуры и выпадением осадков в апреле и мае. Эти погодные факторы при условии их относительно высоких значений способны оказать положительное влияние на урожайность большинства культур. Поэтому более ранние сроки посева яровых культур, пропашных и льна способны увеличить уровень восприятия растениями тепла и влаги и обеспечить повышение урожайности.

### Заключение

Погодные условия периода вегетации оказывают существенное влияние на урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур. Особенно чувствительны растения к влаге и теплу на ранних стадиях развития и в период активного роста. Например, для зерновых культур важное значение имеют показатели среднесуточной температуры воздуха в первую половину вегетации (апрель-июнь), когда формируется фитоценоз посева: густота растений и продуктивного стеблестоя, происходит закладка и развитие колоса, цветков и наблюдается активный рост растений. В итоге, в решающей степени закладывается будущий урожай. Вторым существенным фактором роста и развития растений является влагообеспеченность, определяемая запасом продуктивной влаги в почве к началу вегетации и выпадением осадков в период вегетации.

Проведенным корреляционно-регрессионным анализом влияния температуры воздуха и выпадения осадков за апрель–июнь на урожайность основных сельскохозяйственных

культур установлены закономерности и модели, в соответствии с которыми ряд показателей оказывает на величину урожайности значимое или существенное влияние. Полученные результаты позволяют рекомендовать за счет более ранних сроков сева использовать ресурсы тепла и влаги апреля и мая для достижения более высоких показателей урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур.

*ЛИТЕРАТУРА*

1. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2004. – 180 с.
2. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень (ежегодное информационно-аналитическое издание) / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 1992–2014 гг.
3. Струк, М. И. Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси / М. И. Струк. – Минск: Беларуская навука, 2007. – 252 с.
4. Камышенко, Г. Погодные условия Беларуси и урожайность сельскохозяйственных культур. Математико-статистический анализ. LAP LAMBERT Academic Publishing. – 158 с.
5. Сачок, Г. И. Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко. – Минск: Бел. Наука, 2006. – 243 с.
6. Логинов, В. Ф. Информационное обеспечение автоматизированной системы прогнозирования и управления производственными процессами в земледелии / В. Ф. Логинов, В. И. Иконников, М. Г. Ясовеев. – Минск: Минсктиппроект, 2004. – С. 172–177.
7. Клочков, А. В. Калькулятор для урожая / А. В. Клочков, О. С. Клочкова, О. Б. Соломко // Белорусское сельское хозяйство. – 2014. – № 5(145). – С. 88–90.
8. Клочков, А. В. Слагаемые урожайности: пример Могилевской области / А. В. Клочков, О. С. Клочкова, О. Б. Соломко // Белорусское сельское хозяйство. – 2016. – № 1 (165). – С. 81–83.