

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 551.5(571)

ВЛИЯНИЕ ДЕКАДНОГО АТМОСФЕРНОГО УВЛАЖНЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 г. О. С. Литвинова*

Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

*e-mail: olg.litwino2011@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.05.2020 г.

После доработки 30.10.2020 г.

Принята к публикации 22.12.2020 г.

В период 1960–2017 гг. (май–сентябрь) в лесостепной зоне юго-востока Западной Сибири отмечается значимое повышение температуры воздуха в третьей декаде августа и первой декаде сентября и уменьшение выпадения атмосферных осадков в первых декадах июня и августа. Для характеристики интенсивности засух и атмосферного переувлажнения рассчитан индекс засушливости Педея (Si). В годы с высокой и низкой урожайностью избыточно увлажненные условия ($Si < -1.1$) отмечались в течение двух-трех декад, засухи различной степени интенсивности ($Si > 1.1$) – в течение двух-четырех декад. Урожайность свыше 16.5 ц/га отмечалась при избыточном атмосферном увлажнении в третьей декаде июня и первой декаде июля; менее 6.4 ц/га – при увеличении засушливости в первой декаде мая, июне, первой и второй декадах августа. Анализ линейных трендов позволил определить общую тенденцию изменения урожайности яровой пшеницы на исследуемой территории (+0.7 ц/га/10 лет). В работе проведен регрессионный анализ между декадными аномалиями атмосферного увлажнения и урожайностью яровой пшеницы. Наиболее тесные связи получены между урожайностью яровой пшеницы и засухой различной степени интенсивности в первой декаде мая, первой и второй декадах августа.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, региональная изменчивость климата, индекс засушливости Д.А. Педея, засухи и атмосферное избыточное увлажнение, вегетационный период, Западная Сибирь

DOI: 10.31857/S2587556621020060

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Прогнозируемые изменения климата (растущая повторяемость аномальных природных явлений, в том числе климатических: избыточного увлажнения, атмосферных засух) требуют объективного анализа и оценки их влияния на состояние основных сельскохозяйственных культур. Рост экстремальных климатических явлений может поставить под угрозу продовольственную безопасность во всем мире (Vogel et al., 2019; IPCC..., 2013). Годовые колебания производства зерновых культур, обусловленные колебаниями климата, могут составлять от 1 до 10% по отношению к линии среднего тренда (Борисенков, 1982). В работе (Павлова, Сиротенко, 2012) авторы объясняют тенденцию повышения урожайности зерновых и зернобобовых культур на 1–22% за период 1975–2010 гг. на территории России улучшением климатических условий.

Как отмечается в оценочном докладе об изменениях климата и их последствиях на территории

Российской Федерации, наблюдаемые изменения климата оказывают как положительное, так и отрицательное воздействие на сельское хозяйство (Второй..., 2014). Урожайность сельскохозяйственных культур в XXI в. будет зависеть от регионального изменения климата – повышение среднегодовой температуры на 1°C приведет к росту урожайности пшеницы в отдельных регионах страны. Положительное влияние на сельскохозяйственные культуры в лесостепной зоне юго-востока Западной Сибири оказывают уменьшение продолжительности зимнего сезона на две недели, смещение дат активных температур на более ранние сроки (Литвинова, 2018; Литвинова, Гуляева, 2016).

Основными факторами, определяющими формирование урожайности яровой пшеницы, являются условия тепло- и влагообеспеченности посевов в течение всего периода вегетации (Черникова, Кухарская, 1980). Низкие урожаи яровых зерновых культур на юге Западной Сибири отмечаются при низких показателях тепло и влаго-

обеспеченности (Гуляева, Костюков, 2000). Проблемой изучения засух и избыточного увлажнения исследователи занимаются уже давно, как в России, так и в мире. Сложность проблемы состоит в том, что исследователи применяют различные параметры для характеристики засушливости, трудно сравнимые между собой. Так, повсеместно в мире применяется индекс суровости засухи Палмера (PDSI), который рассчитывается по месячным значениям температуры и осадков и локальным контактам влагоемкости почвы (Dai et al., 2004). Выявление засушливых условий на основе упрощения компонента почвенной влаги в расчетах может достигать нескольких месяцев (Справочник..., 2016). В 2009 г. ВМО рекомендовала стандартизированный индекс осадков (SPI) в качестве основного метеорологического индекса засушливости, являющийся универсальным для любого региона и не требующий введения поправочных коэффициентов. В работе (Уткузова и др., 2015) авторы на основе расчета индекса SPI впервые провели для территории России пространственно-временной анализ эпизодов засушливости и увлажненности, в котором отмечают в последние годы увеличение засушливости в июле над азиатской территорией России.

В России широко применяют комплексные показатели — гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) (1958), коэффициент увлажнения Н.Н. Иванова (1962) и индекс засушливости Д.А. Педа (1975). Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова чувствителен к засушливым условиям, характерным для изучаемого климатического режима, обладает достаточной гибкостью и может использоваться в применениях месячного и декадного масштабов, но не принимает во внимание влагозапасы почвы. Коэффициент увлажнения Н.Н. Иванова требует сведений о влажности воздуха, что не всегда возможно получить в свободном доступе.

В данной работе в качестве объективной характеристики засух и избыточного увлажнения использован индекс засушливости Д.А. Педа (S_i), который учитывает разницу аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков, и их среднеквадратические отклонения. Н.В. Гуляева и В.В. Костюков (2003) впервые проанализировали повторяемость данного индекса с мая по сентябрь 1950—1999 гг. в лесостепной зоне Западной Сибири. Следует отметить, что значения индекса S_i обусловлены влиянием подстилающей поверхности и особенностями циркуляции атмосферы. На Южном Урале атмосферные засухи средней и сильной степени интенсивности отмечаются при развитии атмосферных процессов форм циркуляции (по Г.Я. Вангенгейму — А.А. Гирсу) — С, С+Е; на юге Западной Сибири — форм W и C (Литвинова, Гуляева, 2017). Настоящая работа является продолжением исследования (Литвинова, 2020),

в котором изучены особенности формирования разной степени интенсивности засушливых и избыточно увлажненных условий, обусловленные атмосферной циркуляцией Северного полушария во взаимодействии с подстилающей поверхностью. Наиболее тесные связи выявлены между засухами и отрицательными циркуляционными индексами NAO, AO, EA; избыточным увлажнением и положительными индексами NAO, AO, EA, отрицательным индексом SCAND. Высокие урожаи яровой пшеницы в европейской части России отмечаются при усилении циклонической активности, в период доминирования зонального ветра в приэкваториальной нижней стратосфере и уменьшении повторяемости сильных засух в мае (Золотокрылин и др., 2016).

Проведение комплексных исследований по определению механизмов, направленных на смягчение влияния атмосферных засух и избыточного увлажнения различной степени интенсивности на урожайность зерновых культур, остается актуальным.

Исследуемый регион охватывает территорию Барабинского района Новосибирской области (рис. 1), для него характерен континентальный климат умеренных широт. Барабинский район расположен в пределах лесостепной зоны юга Западной Сибири. По характеру сочетания увлажнения и теплообеспеченности подстилающей поверхности рассматриваемая территория относится к зоне с оптимальным сочетанием тепла и достаточным, но не устойчивым увлажнением (Мезенцев, 1969). Природные условия и агроклиматические ресурсы лесостепной зоны юго-востока Западной Сибири потенциально благоприятны для возделывания мягких сортов пшеницы (Костюков и др., 2009). Вследствие значительной изменчивости агроклиматических факторов урожайность яровой пшеницы существенно изменяется по годам. Колебания урожайности зерновых культур обусловлены в основном погодными условиями конкретного года. Открытость исследуемой территории на севере и юге способствует свободному проникновению холодных арктических и прогретых континентальных умеренных воздушных масс. Большой урон зерновым культурам наносят и дефицит, и избыточное выпадение атмосферных осадков продолжительностью более двух месяцев.

Целью данной работы является исследование влияния засушливых и избыточно увлажненных условий различной степени интенсивности по декадам на урожайность яровой пшеницы в лесостепной зоне Новосибирской области.

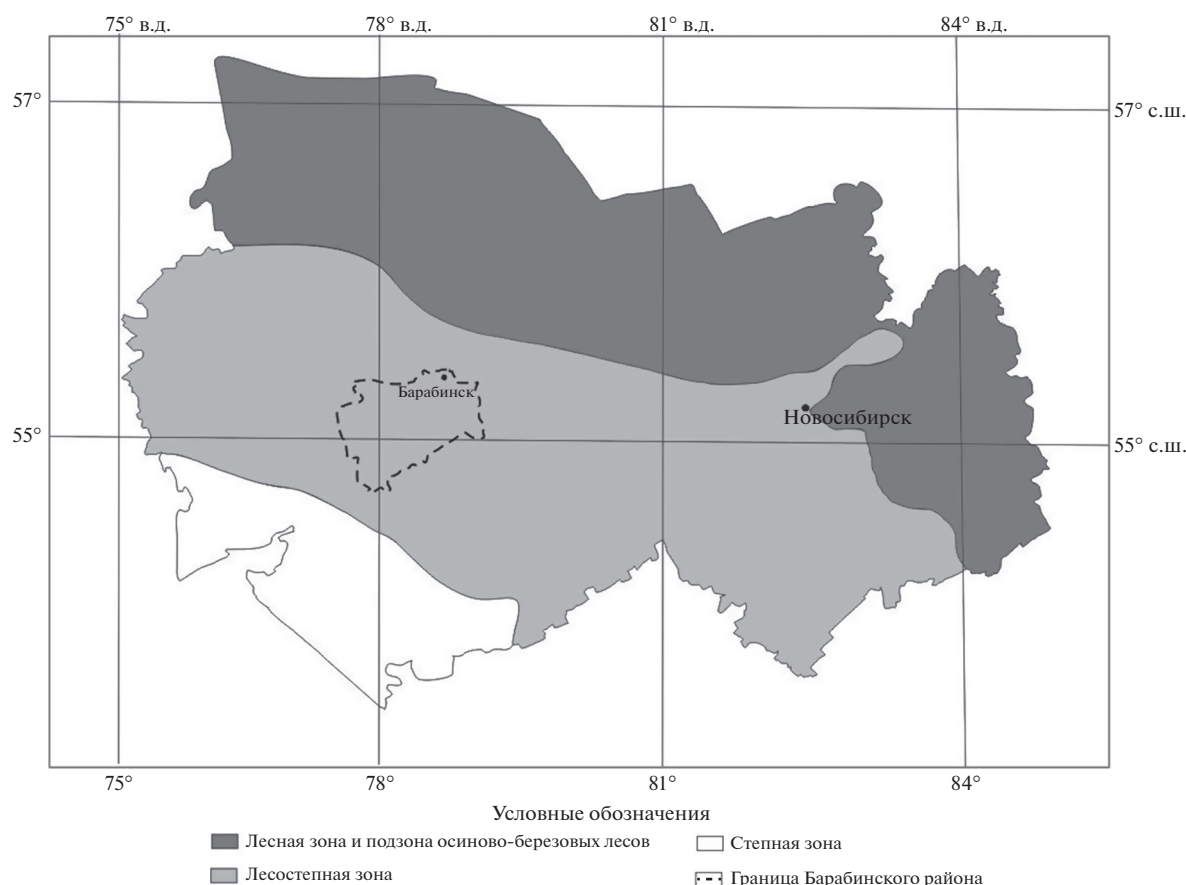


Рис. 1. Картограмма географического положения Барабинского района на территории Новосибирской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для статистических оценок использованы суточные данные по температуре воздуха, атмосферным осадкам с мая по сентябрь¹, материалы многолетних гидрометеорологических наблюдений Западно-Сибирского УГМС и Федеральной службы государственной статистики по урожайности яровой пшеницы с 1960 по 2017 г.²

В качестве индекса увлажнения использовался показатель Д.А. Педея (1975), который характеризует различную степень интенсивности засушливых и избыточно увлажненных условий: $Si \geq 3.1$ — сильная засуха; $2.1 < Si \leq 3.0$ — засуха средней степени; $1.1 < Si \leq 2.0$ — засуха слабой степени; $-1.0 <$

$< Si \leq 1.0$ — нормальное увлажнение; $-2.0 \leq Si < -1.1$ — слабое переувлажнение; $-3.0 \leq Si < -2.1$ — переувлажнение средней степени, $Si \leq -3.1$ — сильное переувлажнение.

В работе составлены каталоги высоких и низких урожаев яровой пшеницы. Высокая и низкая урожайность определялась по сравнению со средними многолетними значениями: в периоде 1960–2017 гг. отбирались годы с урожайностью более 12.6 ц/га (25 случаев) и годы с урожайностью менее 10.5 ц/га (26 случаев).

На основе анализа линейных трендов определялась общая тенденция изменения урожайности яровой пшеницы, по декадам с мая по сентябрь — температуры воздуха, атмосферных осадков и индекса Si ; регрессионного анализа — теснота связи высокой и низкой урожайности яровой пшеницы с засухами и избыточно увлажненными условиями различной степени интенсивности по декадам. Статистическая значимость установленных связей определялась по критерию Стьюдента — $tr \geq 2.0$. При уровне значимости 0.05 значение коэффициента корреляции равно 0.38.

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных. <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения 08.03.2019 г.).

² Посевные площади и валовые сборы сельскохозяйственных культур по районам Новосибирской области. Стат. сб. Новосибирск: Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Новосибирской области. 1960–2017; Федеральная служба государственной статистики. <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 31.05.2019 г.).

Таблица 1. Повторяемость засушливых и избыточно увлажненных условий по декадам за 1960–2017 гг., %

Градация	V			VI			VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$Si > 3.1$	3	3	2	—	—	2	2	2	2	2	—	2	—	—	—
$2.1 < Si < 3.0$	5	3	7	9	2	7	5	5	7	5	10	7	10	3	10
$1.1 < Si < 2.0$	14	16	14	21	28	15	21	19	15	15	21	24	24	29	16
$-1.0 < Si < 1.0$	56	55	53	48	40	50	56	51	59	54	43	41	38	37	48
$-2.0 < Si < -1.1$	12	9	19	12	21	15	10	15	9	17	14	14	9	21	9
$-3.0 < Si < -2.1$	5	12	3	5	7	9	3	3	3	5	9	12	16	3	16
$Si < -3.1$	5	2	2	5	2	2	3	5	5	2	3	2	3	7	2

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рассматриваемой территории выявлены статистически значимые тенденции повышения температуры воздуха во второй декаде мая, в третьей декаде августа и первой декаде сентября ($0.4-0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет) (рис. 2). Выпадение атмосферных осадков уменьшается в первых декадах июня и августа ($-1.7...-1.6$ мм/10 лет). Полученные параметры разнонаправленных трендов по остальным декадам статистически не значимы. На фоне значимых изменений температуры воздуха и атмосферных осадков в данные декады отмечается увеличение повторяемости засух различной степени интенсивности (см. рис. 2).

Повторяемость избыточно увлажненных условий различной степени интенсивности по декадам вегетационного периода за 1960–2017 гг. приведена в табл. 1. Нормальное увлажнение наблюдается в 38–55% случаев. На долю сильных засух приходится не более 3% случаев. В июне – первой и второй декадах, в августе – во второй декаде и в сентябре сильные засухи на исследуемой территории не отмечались. Сильное увлажнение отмечалось в 2–7% случаев. Чаще всего сильное увлажнение наблюдалось во второй декаде сентября. Засуха средней степени интенсивности в 10% случаев отмечалась в августе – во второй декаде, в сентябре – в первой и третьей декадах. Переувлажнение средней степени интенсивности было отмечено в 15% случаев в первой и третьей декадах сентября. Чаще всего слабое переувлажнение и засуха слабой степени интенсивности в 21–29% случаев формировались во второй декаде июня и сентября.

На рассматриваемой территории установлено увеличение урожайности яровой пшеницы – на 0.7 ц/га/10 лет (рис. 3). Об изменчивости урожайности яровой пшеницы можно судить по частоте повторяемости лет с высокими и низкими урожаями. В годы с высокой и низкой урожайностью избыточно увлажненные условия ($Si < -1.1$) отмечались в течение 2–3 декад, засухи различной степени интенсивности ($Si > 1.1$) – в течение двух–

четырех декад. В годы с высоким урожаем (рис. 4) в 44% случаев во второй декаде июня отмечались избыточно увлажненные условия. В 27 случаях урожайность яровой пшеницы в Барабинском районе была выше средних многолетних значений и варьировала от 12.3 до 20.6 ц/га. Урожайность свыше 16.5 ц/га чаще всего отмечалась при избыточном атмосферном увлажнении в третьей декаде июня и первой декаде июля (табл. 2). Самый высокий урожай был получен в 2001 г. – 20.6 ц/га (на 8.9 ц/га больше среднего многолетнего значения). В 1972 г. избыточное увлажнение отмечалось не только в Барабинском районе, но и на всей территории юго-востока Западной Сибири в течение 3–5 мес. В четырех случаях (1980, 1991, 2001 и 2002 гг.) высокие урожаи отмечались при засухах средней и сильной степени интенсивности в мае и первой декаде июня. Во всех четырех случаях осадков выпадало в 1.5–3 раза больше нормы в осенне-зимний период, и почва была хорошо увлажнена к началу проведения весенних полевых работ и сева.

В годы с низким урожаем (см. рис. 4) в 46% случаев в первых декадах июня и сентября отмечалась засуха разной интенсивности ($Si > 1.1$). В 22 случаях урожайность была ниже 10 ц/га, из них в 23% случаев урожайность не превышала 6.5 ц/га – при увеличении засушливости в первой декаде мая, июне, первой и второй декадах августа. Самый низкий урожай был получен в 1967 г. (табл. 3).

Значимые коэффициенты корреляции между урожайностью яровой пшеницы, температурой воздуха, атмосферными осадками и атмосферным увлажнением разной степени интенсивности выявлены лишь в отдельные декады вегетационного периода, тем не менее их вклад может быть существенным.

Рассмотрим влияние температуры воздуха на урожайность яровой пшеницы.

В мае и июне у яровой пшеницы интенсивно развивается корневая система, недостаток влаги и высокие температуры ведут к задержке фазы кушения и уменьшают продуктивность колоса (Ку-

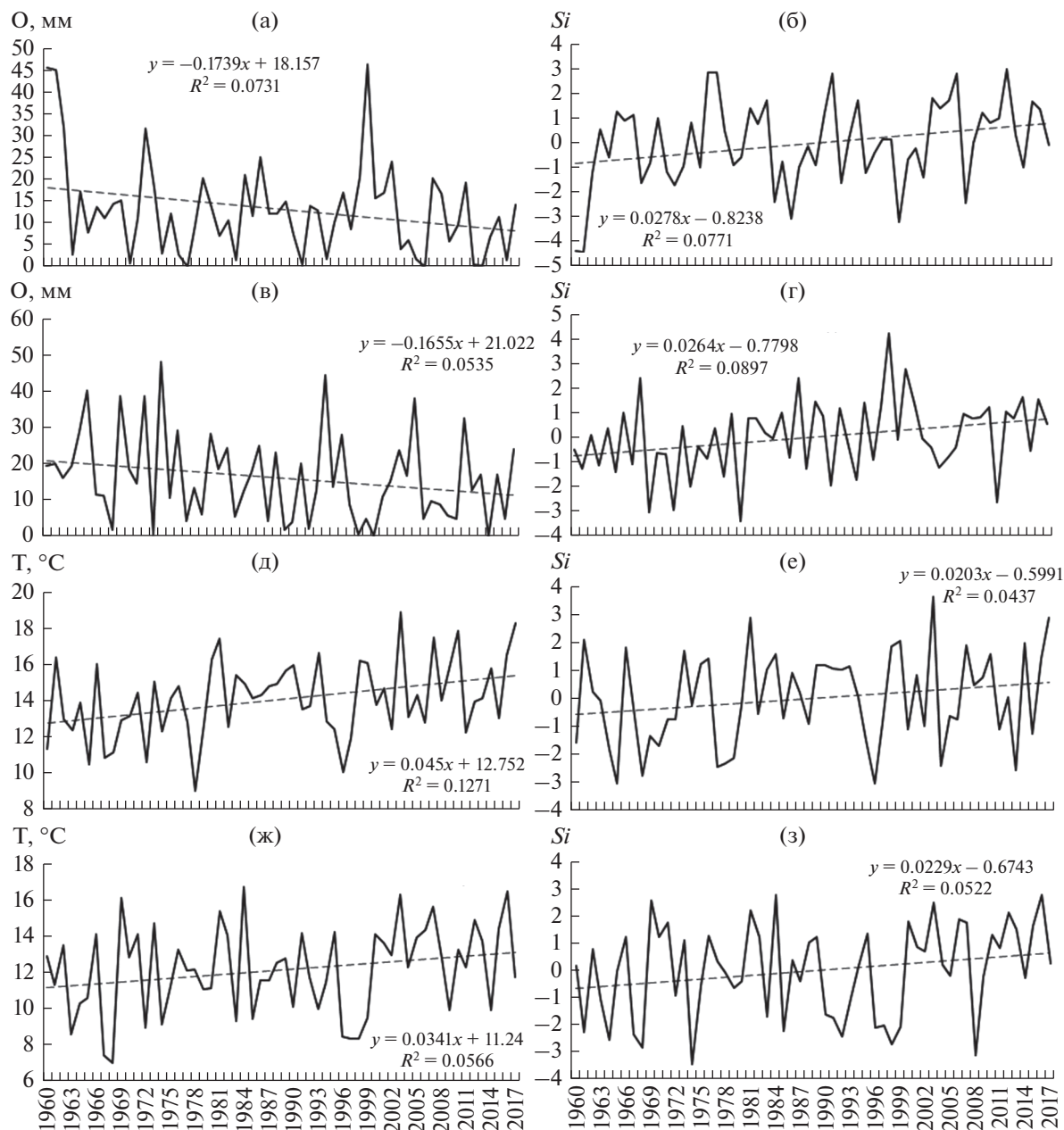


Рис. 2. Динамика и линейные тренды температуры воздуха, атмосферных осадков и индекса Si по декадам вегетационного периода в Барабинске за 1960–2017 гг.: (а) атмосферные осадки первой декады июня, (б) индекс увлажнения первой декады июня, (в) атмосферные осадки первой декады августа, (г) индекс увлажнения первой декады августа, (д) температура воздуха третьей декады августа, (е) индекс увлажнения третьей декады августа, (ж) температура воздуха первой декады сентября, (з) индекс увлажнения первой декады сентября; линейный тренд на графиках показан пунктирной линией.

маков, 1988). Оптимальные условия для кушения +10...+12°C. В июле у яровой пшеницы происходит формирование и налив зерна, высокая температура вызывает преждевременную спелость и щуплость зерна. Оптимальная температура воздуха в период цветения, налива и созревания зерна +20...+24°C.

Наиболее тесные связи получены между низкой урожайностью яровой пшеницы (Y) и десятичными значениями температуры воздуха (t):

$$Y = 0.37t_{3V} - 0.58t_{IVII} + 0.52t_{3VII} + 0.99t_{3VIII} - 8.84, \quad (1)$$



Рис. 3. Динамика и линейные тренды урожайности яровой пшеницы в Барабинском районе за 1960–2017 гг.

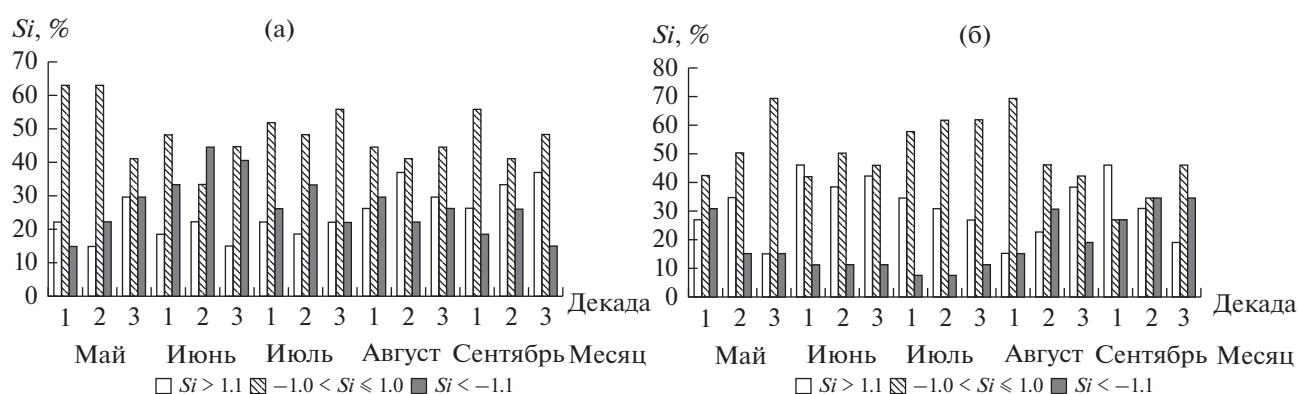


Рис. 4. Повторяемость индекса S_i (%) по декадам: (а) годы с высоким урожаем, (б) годы с низким урожаем.

где t_{3V} – температура воздуха третьей декады мая; t_{1VII} – температура воздуха первой декады июля; t_{3VII} – температура воздуха третьей декады июля; t_{3VIII} – температура воздуха третьей декады августа. Множественный коэффициент корреляции составил 0.82 (R); критерий Стьюдента $tr = 3.28, -4.21, 3.12, 6.01$. При уровне значимости 0.05 значение коэффициента корреляции равно 0.38.

При влиянии атмосферных осадков на урожайность яровой пшеницы получена зависимость между ростом осадков (X) в первых двух декадах июля и увеличением урожайности:

$$Y = 0.04X_{1VII} + 0.05X_{2VII} + 13.39. \quad (2)$$

При выпадении осадков 28 мм в первой декаде июля и 18 мм во второй декаде июля урожай яровой пшеницы составит 15.5 ц/га ($R = 0.62$; $tr = 3.07-2.05$).

Рассмотрим влияние декадного атмосферного увлажнения на формирование урожая яровой пшеницы.

Наибольший вклад в формирование высокого урожая вносит уменьшение атмосферного увлажнения в первой и второй декаде июля:

$$Y = -0.57Si_{1VII} - 0.82Si_{2VII} + 0.66Si_{3VII} + 14.81, \quad (3)$$

где Si_{1VII} – индекс увлажнения первой декады июля; Si_{2VII} – индекс увлажнения второй декады июля; Si_{3VII} – индекс увлажнения третьей декады июля; $R = 0.63$; tr составила $-2.52, -2.55$ и 2.08 соответственно.

Наиболее тесные связи ($R = 0.82$) получены между урожайностью яровой пшеницы и засухой различной степени интенсивности в первой декаде

Таблица 2. Значения индекса S_i по декадам в годы с высоким урожаем яровой пшеницы

Месяц	Декада	1972	1979	1980	1991	1995	2000	2001	2002	2017
V	1	-0.9	0.9	-1.0	2.0	0.6	-0.9	3.6	0.7	0.2
	2	0.3	0.5	1.6	0.6	-2.4	-2.5	0.1	0.1	-0.7
	3	0.1	-1.6	1.6	1.0	0.8	-2.1	3.0	1.3	-1.5
VI	1	-1.7	-0.9	-0.6	2.8	-1.2	-0.6	-0.2	-1.4	-0.1
	2	-4.7	-0.2	2.0	-1.3	-1.9	1.9	0.2	0.8	1.9
	3	-2.3	-2.0	-2.5	-0.8	0.1	1.1	-2.5	-1.2	-0.3
VII	1	-4.6	-5.4	-0.5	-2.9	2.4	1.2	-1.5	-1.7	-0.7
	2	-0.8	1.0	-3.9	0.2	-0.8	0.2	-1.0	-1.1	-1.0
	3	-0.8	2.3	-1.7	2.4	0.2	0.0	-1.1	-0.8	1.2
VIII	1	-3.0	0.9	-3.4	-2.0	1.4	2.8	1.3	-0.1	0.6
	2	-2.6	1.2	0.5	-2.4	2.6	-0.8	1.9	1.2	-0.6
	3	-0.8	-2.1	-0.2	1.1	-1.5	-1.1	0.8	-1.0	2.9
IX	1	-0.9	-0.6	-0.4	-1.7	1.3	1.8	0.8	0.7	0.2
	2	-4.7	1.8	1.3	0.5	-1.2	0.1	-1.1	2.0	-1.2
	3	-0.6	1.4	1.2	0.8	0.9	-2.2	2.3	1.6	-1.0
Урожайность		18.2	18.8	19.9	19.9	17.2	16.8	20.6	17.0	16.5

Таблица 3. Значения индекса S_i по декадам в годы с низким урожаем яровой пшеницы

Месяц	Декада	1963	1965	1967	1969	1976	1982
V	1	-0.1	0.6	1.5	-2.0	0.8	1.5
	2	-0.4	2.3	0.5	-1.3	0.6	1.8
	3	0.0	0.2	0.1	-0.4	-0.7	-0.1
VI	1	0.6	1.3	1.1	-0.8	2.9	0.8
	2	-0.2	2.0	-0.9	0.5	1.5	1.8
	3	1.8	1.3	0.9	2.3	1.7	3.4
VII	1	0.4	2.6	0.7	3.3	0.5	0.3
	2	0.9	2.0	2.7	0.4	-4.6	-0.3
	3	0.0	0.8	-4.5	2.4	-1.0	1.7
VIII	1	-1.1	-1.4	-1.1	-3.1	-0.9	0.8
	2	-1.0	0.2	-1.6	-3.5	-1.4	-1.1
	3	-0.1	-3.0	-0.3	-1.4	1.4	-0.6
IX	1	-1.1	0.0	-2.4	2.6	1.3	1.2
	2	0.8	-0.2	-1.6	-3.5	-1.1	-0.5
	3	0.9	-2.4	-0.4	-0.3	-2.2	0.9
Урожайность		3.9	4.2	1.1	4.6	3.8	6.4

мая, в первой и второй декадах августа, $tr = -3.74$, 4.21 и 2.90 соответственно:

$$Y = -0.68Si_{IV} + 1.30Si_{IVIII} + 0.68Si_{2VIII} + 8.05, \quad (4)$$

где Si_{IV} — индекс увлажнения первой декады мая; Si_{IVIII} — индекс увлажнения первой декады августа; Si_{2VIII} — индекс увлажнения второй декады августа.

При уменьшении увлажнения в первой декаде мая, в третьей декаде июня и первой декаде

июля теснота зависимости снижается ($R = 0.64$), $tr = -2.20$, -2.13 и -2.59 соответственно:

$$Y = -0.55Si_{IV} - 0.66Si_{3VI} - 0.85Si_{IVII} + 8.99, \quad (5)$$

где Si_{IV} — индекс увлажнения первой декады мая; Si_{3VI} — индекс увлажнения третьей декады июня; Si_{IVII} — индекс увлажнения первой декады июля.

Решение уравнений (4) и (5) показывает, что урожайность не превышает 8 ц/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно проведенному исследованию влияния засушливых и избыточно увлажненных условий различной степени интенсивности на урожайность яровой пшеницы в лесостепной зоне юго-востока Западной Сибири – в Барабинском районе Новосибирской области – можно сделать следующие выводы:

1. На рассматриваемой территории за 1960–2017 гг. выявлено повышение температуры воздуха в третьей декаде августа и первой декаде сентября, уменьшение выпадения атмосферных осадков в первой декаде июня и первой декаде августа, что привело к увеличению повторяемости засух различной степени интенсивности в данных декадах.
2. На исследуемой территории отмечается повышение урожайности яровой пшеницы.
3. Тесные связи низкой урожайности яровой пшеницы получены с засухой различной степени интенсивности в первой декаде мая, в первой и второй декадах августа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борисенков Е.П. Климат и деятельность человека. М.: Наука, 1982. 128 с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 60 с.
- Гуляева Н.В., Костюков В.В. Динамика атмосферного увлажнения лесостепной зоны Новосибирской области // Тр. Сиб. рег. науч.-исслед. гидромет. ин-та. 2003. № 104. С. 60–65.
- Гуляева Н.В., Костюков В.В. О некоторых особенностях изменчивости агроклиматических ресурсов юга Западной Сибири и прилегающих районов Урала // Тр. Сиб. рег. науч.-исслед. гидромет. ин-та. 2000. Вып. 103. С. 106–114.
- Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б., Михайлов А.Ю., Бардин М.Ю., Ширяева А.В., Виноградова В.В. Изменения урожайности зерновых культур Европейской России, вызванные квазидвухлетней цикличностью атмосферных процессов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 2. С. 90–99. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-2-90-99>
- Иванов Н.Н. Показатель биологической эффективности климата // Изв. РГО. 1962. Т. 94. № 1. С. 65–70.
- Костюков В.В., Старостина Т.В., Черникова М.И. Агроклиматические ресурсы и динамика урожайности ранних яровых зерновых культур Западной Сибири. Новосибирск, 2009. 184 с.
- Кумаков В.А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии. М.: Росагропромиздат, 1988. 104 с.
- Литвинова О.С. Влияние макроциркуляционных условий на атмосферное увлажнение юга и юго-востока Западной Сибири // Геогр. вестн. 2020. № 2 (53). С. 100–110. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-2-100-110>
- Литвинова О.С., Гуляева Н.В. Макроциркуляционные условия атмосферных засух на юге Урала и Западной Сибири в XX – начале XXI вв. // Электронный науч.-методич. журн. Омского ГАУ. 2017. № 1(8) октябрь–декабрь. <http://e-journal.omgau.ru/index.php/vyp-rus/2017-rus/1-8-rus> (дата обращения 26.03.2020 г.).
- Литвинова О.С. Макроциркуляционные условия зимнего сезона юго-востока Западной Сибири // Геогр. вестн. 2018. № 4(47). С. 67–77. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-4-67-77>
- Литвинова О.С., Гуляева Н.В. Структура фаз летнего сезона на юго-востоке Западной Сибири // Геогр. вестн. 2016. № 4(39). С. 57–69. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-4-57-69>
- Мезенцев В.С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 168 с.
- Павлова В.Н. Сиротенко О.Д. Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России // Тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2012. № 565. С. 132–151.
- Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Тр. ГМЦ СССР. 1975. Вып. 156. С. 19–38.
- Селянинов Г.Т. Происхождение и динамика засух. Л.: Гидрометеиздат, 1958. С. 5–30.
- Справочник по показателям и индексам засушливости. Средства и руководящие указания по комплексной борьбе с засухой. Сер. 2. Всемирная метеорологическая организация и Глобальное водное партнерство, 2016. 60 с.
- Уткузова Д.Н., Хан В.М., Вильфанд Р.М. Статистический анализ эпизодов экстремальной засушливости и увлажненности на территории РФ // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 1. С. 66–75.
- Черникова М.И., Кухарская В.Л. Исследование ресурсов климата Западной Сибири на период до 2000 г. для сельского хозяйства // Тр. ЗапСибРНИГМИ. 1980. Вып. 44. С. 78–98.
- Dai A., Trenberth K. E., 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. V. 5. P. 1117–1130.
- Vogel E., Donat M.G., Alexander L.V., Meinshausen M., Ray D.K., Karoly D., Meinshausen N., Frieler K. The effects of climate extremes on global agricultural yields // Env. Res. Lett. 2019. V. 14. №. 5. P. 1–12.
- IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds.). Cambridge, United Kingdom, N.Y., USA: Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 p.

Influence of Decadal Atmospheric Moisture on Spring Wheat Yield in the Forest-Steppe Zone of Novosibirsk Oblast

O. S. Litvinova*

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

*e-mail: olg.litwino2011@yandex.ru

In the period 1960–2017 (May to September) in the forest-steppe zone of the South-East of Western Siberia, there is a significant increase in air temperature in the third decade of August and the first decade of September, and a decrease in atmospheric precipitation in the first decades of June and August. To characterize the intensity of droughts and atmospheric waterlogging, the Ped drought index (Si) was calculated. In years with high and low yields, excessively humid conditions ($Si < -1.1$) were observed for two or three decades, droughts of varying intensity ($Si > 1.1$) – for two or four decades. Yields above 16.5 c/ha were observed with excessive atmospheric humidification in the third decade of June and the first decade of July; less than 6.4 c/ha—with an increase in aridity in the first decade of May, June, the first and second decades of August. The analysis of linear trends made it possible to determine the general trend of change in the yield of spring wheat in the study area (+0.7 c/ha/10 years). Regression analysis between decadal anomalies of atmospheric humidification and yield of spring wheat was carried out. The closest links are between spring wheat yields and drought of varying intensity in the first decade of May, the first and second decades of August.

Keywords: air temperature, precipitation, regional climate variability, Ped drought index, droughts, excessive atmospheric moisture, growing season, Western Siberia

REFERENCES

- Borisenkov E.P. *Klimat i deyatel'nost' cheloveka* [Climate and Human Activity]. Moscow: Nauka Publ., 1982. 128 p.
- Chernikova M.I., Kukharskaya V.L. Research of climate resources of Western Siberia for the period up to 2000 for agriculture. *Tr. ZapSibRNIGMI*, 1980, vol. 44, pp. 78–98. (In Russ.).
- Dai A., Trenberth K.E., Qian T. Global data set of the Palmer drought severity index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and the effects of surface warming. *J. Hydrometeorol.*, 2004, vol. 5, no. 6, pp. 1117–1130.
- Gulyaeva N.V., Kostyukov V.V. About some features of variability of agro-climatic resources of the South of Western Siberia and adjacent areas of the Urals. *Tr. Sibir. Reg. Nauchn.-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 2000, vol. 103, pp. 106–114. (In Russ.).
- Gulyaeva N.V., Kostyukov V.V. Dynamics of atmospheric humidification of the forest-steppe zone of the Novosibirsk oblast. *Tr. Sibir. Reg. Nauchn.-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 2003, vol. 104, pp. 60–65. (In Russ.).
- Handbook of Drought Indicators and Indices. Svoboda M., Fuchs B., Eds. Geneva: World Meteorological Organization (WMO), Global Water Partnership (GWP), 2016. 60 p.
- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M., Eds. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press., 2013. 1535 p.
- Ivanov N.N. Indicator of biological efficiency of climate. *Izv. Russ. Geogr. O-va*, 1962, vol. 94, no. 1, pp. 65–70. (In Russ.).
- Kostyukov V.V., Starostina T.V., Chernikova M.I. *Agroklimaticheskie resursy i dinamika urozhainosti rannikh yarovykh zernovykh kul'tur Zapadnoi Sibiri* [Agro-Climatic Resources and Productivity Dynamics of Early Spring Grain Crops in Western Siberia]. Novosibirsk, 2009. 184 p.
- Kumakov V.A. *Biologicheskie osnovy vozdeleyvaniya yarovoi pshenitsy po intensivnoi tekhnologii* [Biological Bases of Cultivation of Spring Wheat Using Intensive Technology]. Moscow: Rosagropromizdat Publ., 1988. 104 p.
- Litvinova O.S. Macrocirculatory conditions of the winter season in the South-East of Western Siberia. *Geogr. Vestn.*, 2018, vol. 47, no. 4, pp. 67–77. (In Russ.). doi 10.17072/2079-7877-2018-4-67-77
- Litvinova O.S. The influence of macrocircular conditions on atmospheric humidification in the South and South-East of Western Siberia. *Geogr. Vestn.*, 2020, vol. 53, no. 2, pp. 100–110. (In Russ.). doi 10.17072/2079-7877-2020-2-100-110
- Litvinova O.S., Gulyaeva N.V. Macrocirculatory conditions of atmospheric droughts in the South of the Urals and Western Siberia in the 20th – early 21st centuries. *Elektronnyi Nauchn.-Metod. Zh. Omsk. GAU*, 2017, no. 1(8), October–December. Available at: <http://ejournal.omgau.ru/index.php/vyp-rus/2017-rus/1-8-rus> (accessed: 26.03.2020). (In Russ.).
- Litvinova O.S., Gulyaeva N.V. Structure of summer season phases in the South-East of Western Siberia. *Geogr. Vestn.*, 2016, vol. 39, no. 4, pp. 57–69. (In Russ.). doi 10.17072/2079-7877-2016-4-57-69
- Mezentsev V.S. *Uvlazhnennost' Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Humidification of the West Siberian Plain]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1969. 168 p.
- Pavlova V.N., Sirotenko O.D. Observed climate changes and dynamics of agricultural productivity in Russia. *Tr. Glavnoi Geofizicheskoi Observatorii im. A.I. Voeikova*. 2012, vol. 565, pp. 132–151. (In Russ.).

- Ped' D.A. On the indicator of drought and excessive moisture. *Trudy GMTs SSSR*, 1975, vol. 156, pp. 19–38. (In Russ.).
- Selyaninov G.T. The origin and dynamics of droughts. In *Zasukhi v SSSR, ikh proiskhozhdenie, povtoryaemost' i vliyaniye na urozhai* [Droughts in the USSR, Their Origin, Recurrence and Impact on Crops]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1958, pp. 5–30. (In Russ.).
- Utkuzova D.N., Han V.M., Vil'fand R.M. Spatio-temporal characteristics of wet and drought extremes over territory of Russia. *Optika Atmosfery i Okeana*, 2015, vol. 28, no. 1, pp. 66–75. (In Russ.).
- Vogel E., Donat M.G., Alexander L.V., Meinshausen M., Ray D.K., Karoly D., Meinshausen N., Frieler K. The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environ. Res. Lett.*, 2019, vol. 14, no. 5, 054010. doi 10.1088/1748-9326/ab154b
- Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee resyume* [Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and its Consequences in Russian Federation. Summary]. Moscow: Rosgidromet, 2014. 60 p.
- Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B., Mikhailov A.Yu., Bardin M.Yu., Shiryayeva A.V., Vinogradova V.V. Change in yields of cereal crops in European Russia caused by the quasi-biennial oscillation of atmospheric processes. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.* 2016, no. 2, pp. 90–99. (In Russ.). doi 10.15356/0373-2444-2016-2-90-99