

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур в Оренбургском Предуралье на основе синоптико-статистического моделирования

А.А. Неверов, к.с.-х.н., ФБГНУ ФНЦ БСТ РАН

Происходящие в последние три десятилетия глобальные изменения климата на планете ставят перед земледельцами множество нерешённых вопросов: о направленности и влиянии этих изменений на региональный климат и соответственно на продуктивность посевов сельскохозяйственных культур и о том, как реагировать на происходящие перемены. Изменения климата носят катастрофичный характер, особенно в регионах с неустойчивым и недостаточным увлажнением, экстремальным по-

вышением температуры воздуха в период активной вегетации растений [1–8].

Известно, что к таким регионам относится территория Оренбургской области, где повторяемость экстремальных экологических условий (высокая напряжённость и продолжительное воздействие засухи) для посевов сельскохозяйственных культур в последнее десятилетие достигла 80% [9–13].

Составными частями климатической системы планеты являются океаны и суша, нижняя тропосфера и криосфера, находящиеся в постоянном

динамичном взаимодействии между собой по передаче и трансформации солнечной энергии.

Большая роль в передаче энергии на планете принадлежит прежде всего океанам и морям [1, 3, 7, 8]. Под воздействием ветров-пассатов и вследствие термохалинной циркуляции океанические течения осуществляют перенос тепла от экватора к полюсам и наоборот, более холодные массы воды перемещаются к экватору. В холодное время года тёплые течения приносят тепло и осадки северным территориям, а в летний период — прохладу [8].

Наблюдаемые в последнее время изменения климата связаны прежде всего с повышением температуры воды в океанах и воздуха в нижней тропосфере. Рост температуры наблюдается по всей планете. В Оренбургской области повышение температуры приземного слоя воздуха приводит к усилению засушливости территории и, как следствие, к снижению продуктивности многих видов растений.

В наших ранее опубликованных работах установлены достоверные связи трендов урожайности сельскохозяйственных культур: озимой ржи, ячменя, кукурузы, проса, овса, подсолнечника с изменением климатических условий в различных природных зонах Оренбургской области [9–13]. Последствия этих изменений отрицательно влияют на продуктивность всех перечисленных культур, за исключением подсолнечника.

Исследованы изменения климата в Оренбургской области за период с 1886 г. по настоящее время. Колебания погодно-климатических условий происходили на протяжении всего указанного периода времени, но особенно заметно и ощутимо для растениеводства региона — за последние 40 лет.

Рост температуры воздуха отмечается в разных регионах планеты, но последствия этого процесса по-разному отражаются на продуктивности агроценозов. В большинстве регионов страны погодно-климатические условия улучшаются для растениеводства, что сопровождается ростом урожая. Однако в таких засушливых регионах как Астраханская, Волгоградская, Оренбургская области и в Республике Калмыкия происходят катастрофические изменения, что делает долгосрочный прогноз урожайности в этих регионах особенно актуальным в настоящее время.

Цель исследования — установить связи между урожайностью кукурузы и температурными аномалиями климатической системы планеты и определить возможности долгосрочного прогнозирования урожайности на основе моделирования этих связей.

Материал и методы исследования. В основе синоптико-статистического метода агрометеорологических прогнозов [14] лежит предположение о том, что развитие атмосферных процессов в том или ином регионе в период весенне-летней вегетации культуры связано с особенностями циркуляции

атмосферы в предшествующий осенне-зимний период в пределах всего Северного полушария. Отсутствие фундаментальной теории, объясняющей наличие связи между процессами в отдельные сезоны, обуславливает применение в методиках в основном аппарата математической статистики.

Для статистического анализа выбран временной ряд средней урожайности зелёной массы кукурузы Оренбургского района Оренбургской области за последние 40 лет (1979–2018 гг.). В качестве независимых предикторов использовали за тот же период времени среднемесячные аномалии температуры поверхностных вод океана и приземного слоя воздуха над сушей в различных частях планеты (Северное и Южное полушария, вся планета в целом) и в среднем суши и океана, выраженные в градусах по Цельсию. Данные получены на сайте Национального центра климатических данных США [15].

Для анализа использовали не только параметры текущего года, но и лаговые переменные параметров климата со смещением вперёд до трёх лет относительно временного ряда урожайности кукурузы.

Корреляционный и многомерный регрессионный анализы проводили в программе Statistica 6.1.

Результаты исследования. Известно, что основным фактором, определяющим климат на нашей планете, является переменная солнечная активность, которая трансформируется в тепловую энергию на неоднородной поверхности планеты [2, 4, 6, 7]. Вопрос о том, что является причиной непериодической изменчивости солнечной активности, на сегодняшний день остаётся дискуссионным. Энергия Солнца запускает в работу климатическую систему планеты. Роль Мирового океана как составной части этой системы учёные считают ведущей, поскольку вода обладает большой теплоёмкостью и в связи с этим большей инертностью по отношению к суше. Суша нагревается и остывает быстрее воды. Инерция Мирового океана даёт шанс исследователю на установление связи между прошлыми событиями (температурой) и будущими (урожайность сельскохозяйственных культур в регионах планеты).

Поскольку климатическая система планеты является открытой системой, связь её параметров с погодными условиями, а следовательно, и с продуктивностью посевов в регионах логична и должна проявляться. Корреляционный анализ, проведённый между температурными аномалиями климатической системы планеты и урожайностью кукурузы, подтвердил нашу гипотезу (табл. 1).

В таблице 1 представлена корреляционная матрица между температурными аномалиями океана и суши обоих полушарий планеты, в таблицу включены только коэффициенты корреляции, равные или превышающие по абсолютной величине 0,5. Лаговые переменные с заглаговременностью 2 и 3 года в таблицу не попали, поскольку их связь была

1. Коэффициенты корреляции (>0,5) между температурными аномалиями океана и суши Северного и Южного полушарий планеты и урожайностью зелёной массы кукурузы в зависимости от времени наблюдения (1979–2018 гг.)

Месяц	Северное полушарие			Южное полушарие		
	океан	суша	суша и океан	океан	суша	суша и океан
Год, предшествующий урожаю						
Март	-0,56	–	-0,54	–	–	–
Апрель	-0,56	–	-0,50	-0,54	–	–
Май	-0,58	–	-0,50	-0,58	–	–
Июнь	-0,62*	–	-0,55	-0,57	-0,54	–
Июль	-0,62	–	-0,53	-0,59	-0,68	–
Август	-0,62	-0,52	-0,60	-0,58	–	–
Сентябрь	-0,59	-0,50	-0,56	-0,54	–	–
Октябрь	-0,61	-0,50	-0,59	-0,54	–	–
Ноябрь	-0,62	–	-0,54	-0,65	-0,53	-0,64
Декабрь	-0,62	–	-0,51	-0,59	–	-0,58
Год формирования урожая						
Январь	-0,63	–	-0,55	-0,53	–	-0,53
Февраль	-0,64	–	-0,54	-0,54	–	-0,52
Март	-0,59	–	-0,50	-0,63	–	-0,60
Апрель	-0,60	-0,55	-0,60	-0,60	–	-0,54
Май	-0,57	-0,51	-0,54	-0,58	–	-0,56
Июнь	-0,59	-0,60	-0,62	–	-0,51	-0,60
Июль	-0,55	-0,65	-0,63	–	-0,50	-0,51
Август	-0,55	-0,59	-0,58	–	-0,63	-0,54

Примечание: жирным шрифтом выделены наиболее значимые коэффициенты корреляции

2. Модель регрессии урожайности кукурузы на аномалии температуры океана и суши Северного и Южного полушарий планеты

Предикторы модели	R = 0,83 R ² = 0,68 F (4,35) = 18,7			
	β-стандартизованный коэффициент	коэффициент регрессии	оценка коэффициента регрессии по t-критерию Стьюдента	p-уровень
Начальная ордината		153,614	9,91	0,000
T суши 7 мпр ЮП	-0,37	-45,791	-2,65	0,011
T океана 11 мпр. ЮП	-1,05	-375,812	-4,61	0,000
T океана 9 мпр. ЮП	0,90	325,564	3,79	0,001
T океана и суши 3 мпр СП	-0,33	-36,016	-2,44	0,019

Примечание (здесь и далее): T – температурная аномалия, мпр – месяц года, предшествующего урожаю, ЮП и СП – Южное и Северное полушария

существенно ниже значения (R=0,5). В таблице представлены два периода: с марта по декабрь года, предшествующего урожаю, и с января по август года формирования урожая.

Нами установлено, что связь урожайности кукурузы с глобальными температурными аномалиями отрицательна в обоих полушариях планеты как в океане, так и на суше, то есть рост температуры поверхностных вод океана и приземного слоя воздуха над сушей приводит к снижению урожайности кукурузы.

В модель множественной регрессии (табл. 2) вошли четыре предиктора аномалии температуры, из которых три представляют условия Южного полушария в июле, сентябре и ноябре года, предшествующего урожаю и один – марта на всей территории океана и суши Северного полушария.

Коэффициент множественной регрессии достаточно высокий – 0,83, указанные факторы детерминируют 68% изменчивости урожайности

зелёной массы кукурузы в Оренбургском районе. Оценка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента (2,44–9,91) показывает их высокую значимость и достоверность на уровне P<0,05. Однако стандартная ошибка оценки средней урожайности велика – 23,8 ц с га, это означает, что вариация прогноза урожайности по данной модели может иметь большую амплитуду.

Стандартизованный коэффициент характеризует силу воздействия фактора на изменчивость урожая кукурузы, в нашем случае наибольшее влияние на конечный результат оказывают температурные аномалии океана Южного полушария в сентябре и ноябре года, предшествующего урожаю.

Для расчёта урожайности кукурузы в 2019 г. в декабре 2018 г. известны значения всех предикторов, вошедших в модель множественной регрессии. Расчёты, проведённые по температурным аномалиям суши и океана планеты, показывают (табл. 3) возможную урожайность кукурузы в Оренбургском

3. Прогноз урожайности зелёной массы кукурузы на 2019 г. по температурным аномалиям суши и океана планеты

Предикторы модели	Взвешенные веса	Значение аномалий, °С	В-веса*, знач.
Т суши 7 мпр. ЮП	-45,791	0,98	-44,875
Т океана 11 мпр. ЮП	-375,812	0,60	-225,487
Т океана 9 мпр. ЮП	325,564	0,57	185,572
Т океана и суши 3 мпр. СП	-36,016	1,10	-39,618
Св. член			153,614
Предсказанная урожайность 2019 г.			29,2
-95,0% ДП			13,2
+95,0% ДП			45,2

районе Оренбургской области в будущем году на уровне 29,2 ц с 1 га зелёной массы, при вариации от 13,2 до 45,2 ц с 1 га.

Низкая урожайность кукурузы, прогнозируемая на 2019 г., свидетельствует о возможных неблагоприятных экологических условиях для роста и развития растений в условиях центральной зоны Оренбургского Предуралья. К сожалению, на вопрос о том, какие погодные условия вегетационного периода ожидаются в 2019 г., созданная нами модель урожайности ответить не может. Для управления урожаем и рисками, связанными с производством, весьма актуальным становится вопрос о прогнозировании наряду с урожайностью тех погодных факторов, которые в большинстве случаев определяют урожайность той или иной культуры в определённой географической точке планеты.

Выводы. Впервые для небольшого по площади Оренбургского района Оренбургской области на принципах синоптико-статистического моделирования получена прогностическая модель множественной регрессии глобальных температурных аномалий суши и океана на урожайность зелёной массы кукурузы. О точности данного метода и возможности его применения в сельскохозяйственном производстве в различных регионах страны можно будет судить только после проверки временем.

Литература

1. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. Климатические ритмы теплового режима Мирового океана // Природа. 2016. № 8. С. 26–33.
2. Дергачёв В.А., Распопов О.М. Долговременная солнечная активность – контролирующий фактор глобального потепления XX века // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 2. С. 272–275.
3. Навроцкий В.В. Мировой океан и глобальные изменения климата // Вестник ДВО РАН. 2013. № 6 (172). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-okean-i-globalnye-izmeneniya-klimata> (дата обращения: 15.10.2018).
4. Жеребцов Г.А. Солнечная активность и динамические процессы в атмосфере и теплосодержании Мирового океана / Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, С.И. Молодых [и др.] // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 2. С. 268–271.
5. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: Наука, 2001. 351 с.
6. Распопов О.М. Интерпретация физических причин глобального и регионального климатических откликов на долговременные вариации солнечной активности / О.М. Распопов, В.А. Дергачёв, О.В. Козырева [и др.] // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 2. С. 276–278.
7. Жеребцов Г.А. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана / Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, С.И. Молодых [и др.] // Известия Иркутского государственного университета: серия «Науки о Земле», 2013. Т. 6. № 1. С. 61–79.
8. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М., 2013. 144 с.
9. Неверов А.А. Влияние погодных факторов на продуктивность ячменя в восточной зоне Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. № 3. 8 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-3/Articles/NAA-2017-3.pdf>.
10. Неверов А.А. Математическое моделирование связей урожая озимой ржи с погодноклиматическими условиями в центральной зоне Оренбургской области (цикл статей по теме «Исследования методами нейросетевого анализа влияния региональных изменений климата на продуктивность агрофитоценозов») // Вестник мясного скотоводства. 2015. № 3 (91). С. 125–131.
11. Неверов А.А. Роль погодно-климатических факторов восточной зоны Оренбуржья в формировании урожая проса // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. №3: 9с. [Электронный ресурс]. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-3/Articles/AAN-2017-3.pdf>.
12. Неверов А.А. Региональный прогноз урожайности полевых культур по аномалиям глобальных параметров климатической системы планеты // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (75). С. 15–19.
13. Неверов А.А. Современные тенденции изменения климата в Оренбургской области // Вестник мясного скотоводства. 2015. № 1 (89). С. 117–121.
14. Лебедева В.М. Долгосрочный синоптико-статистический метод прогноза валового сбора зерновых культур по федеральным округам и России в целом // Труды ВНИИСХМ. 2010. Вып. 37. С. 69–81.
15. Национальный центр климатических данных. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/nhem/ocean/1/9/1880-2018> (дата обращения 25.12.2018).