

Вероятностный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур и погодных условий вегетационного периода 2019 г. для степной зоны Оренбургского Приуралья

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

В регионах с недостаточным и неустойчивым увлажнением посевов полевых культур в условиях теплового стресса прогноз их продуктивности и сопутствующих условий за 2–3 месяца до начала полевых работ позволяет своевременно принять управленческие решения в целях повышения эффективности агробизнеса. Выражение «предупреждён, а значит – вооружён» весьма актуально в таких условиях.

Известно, что при длительной засухе и жаре отдают предпочтение сортам и культурам, лучше адаптированным к подобным условиям, например, сорго, суданской траве, подсолнечнику и т.д. [1–4].

В зависимости от силы воздействия и продолжительности засухи уменьшают плотность посева на 10–15% и более, улучшая тем самым влагообеспеченность растений. Применение специфических регуляторов роста и некорневые подкормки элементами минерального питания повышают устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды. Выбор сроков сева во многом определяется характером распределения метеорологических факторов в период вегетации растений. В зависимости от прогноза меняется весь агротехнический комплекс мероприятий по возделыванию сельскохозяйственных культур. В целях сбережения влаги поверхность почвы должна быть защищена мульчирующим слоем из растительных остатков, создание которого предполагает использование только орудий и машин для работы по стерневому и «нулевому» фону. Удобрения вносят под основную обработку поч-

вы осенью, весной стартовые дозы минеральных удобрений снижают до минимальных значений.

Надёжность прогноза урожайности значительно повышается, если используются различные методы в сочетании с прогнозом метеорологических факторов, определяющих уровни продуктивности растений. В результате перекрёстного прогноза появляется сценарий, оценку которого проводит эксперт в области растениеводства. На его основе принимаются управленческие решения.

Цель исследования – долгосрочный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур в Оренбургской области и сопутствующих погодных условий с использованием различных методов прогнозирования.

Материал и методы исследования. Объектами исследования были многолетние временные ряды (1930–2018 гг.) урожайности основных сельскохозяйственных культур Оренбургского района Оренбургской области, средняя суточная температура воздуха по г. Оренбургу (1891–2018 гг.); аномалии параметров климатической системы планеты:

– площади морского льда в Северном и Южном полушариях (1979–2018 гг.), млн км²;

– отклонений от средней по ряду температуры за период 1910–2000 гг. в градусах Цельсия: глобально всей планеты (океана, суши, суши и океана) с 1880 г. по н.в.; Северного полушария (океана, суши, суши и океана) с 1880 г. по н.в.; основного региона развития ураганов Атлантического бассейна (Atlantic Main Development Region (MDR), между 10–20° северной широты и 20–85° западной долготы за период с 1910 г. по настоящее время.

Данные по аномалиям температуры и площади морского льда получены с сайта Национального центра климатических данных США [5].

1. Прогноз урожайности полевых культур на 2019 г. для Оренбургского района Оренбургской области

Метод прогнозирования	Предикторы в моделях	Урожайность, т га ⁻¹				
		озимая рожь	ячмень	пшеница яровая	кукуруза (зелёная масса)	подсолнечник (масло-семена)
Остаточных отклонений + метод наложения эпох	квазицикличность	0,8–1,0	0,6–0,9	0,3–0,5	4,4–6,6	0,4–0,8
Остаточных отклонений + метод наложения эпох	расстояние до ЦМСС*	1,3	0,5	0,2	–	0,3
Множественная регрессия	параметры климатической системы планеты	1,2–1,7	0,5–0,8	0,6–0,8	5,9–6,6	0,8–1,0
Нейронная сеть (регрессия)	параметры климатической системы планеты	–	0,2	–	3,0	0,6
Фактическая урожайность за 30 лет (1989–2018 гг.)		1,6	1,0	0,8	7,4	0,6

Примечание: *расстояние от Земли до центра масс Солнечной системы (ЦМСС)

Использовались различные статистические методы долгосрочного прогнозирования [6–11]: метод остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох на основе квазицикличности природных циклов и колебаний центра масс Солнечной системы в авторской программе «Prognostics 4.1»; авторегрессии временного ряда; линейной множественной регрессии, а также регрессии в нейронных сетях.

Выбор предикторов и построение прогностических моделей осуществлялось с помощью корреляционно-регрессионного анализа в программе Statistica 6.1.

Результаты исследования. Для прогнозирования урожайности основных сельскохозяйственных культур применялись методы, учитывающие влияние солнечной активности на климатическую систему нашей планеты (табл. 1).

Тестирование моделей проводилось по внешнему независимому тесту – урожайности полевых культур в 2018 г. Прогноз формировался как средний показатель по ансамблю нескольких моделей, удовлетворяющих требованиям тестирования.

Метод остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох основан прежде всего на учёте периодичности проявления изменений урожайности в прошлом в определённой географической точке планеты, в нашем случае на территории Оренбургского района Оренбургской области. В качестве предикторов использовались различные наборы циклов: в первом случае – квазицикличность, во втором – периодически меняющееся положение центра масс Солнечной системы. Квазицикличность – это набор циклов (эпох), проявляющийся в атмосферных процессах в определённой точке планеты под влиянием гравитационного взаимодействия небесных тел Солнечной системы. В данном методе вычисляются остаточные отклонения урожайности, выраженные в процентах от тренда. Таким образом, элиминируется пролонгированный антропогенный фактор в виде трендовой составляющей. Отклонения урожайности от тренда коррелируют с физическими процессами, их обуславливающими.

Регрессионный анализ основан на инерции связи урожайности полевых культур с аномалиями параметров климатической системы планеты в различных её точках. В наших ранних работах [9, 11] показано, что положительные температурные аномалии поверхностных вод океанов и сокращение площади морского льда в Северном полушарии усиливают аридность климата в Оренбургском регионе.

При всех различиях результатов, рассчитанных разными методами, объединяет их общее – прогнозный уровень урожайности озимой ржи, ячменя, яровой пшеницы и кукурузы может уступить средней урожайности этих культур за последние 30 лет. По разным моделям урожайность озимой

ржи может варьировать от 0,8 до 1,7 т га⁻¹ против 1,6 т га⁻¹ за последние три десятилетия, ячменя – 0,2–0,9 т га⁻¹ и 1,0 т га⁻¹, яровой пшеницы – 0,2–0,8 и 0,8 т га⁻¹, зелёной массы кукурузы – 3,0–6,6 и 7,4 т га⁻¹ соответственно. Лучшие результаты может показать подсолнечник – 0,3–1,0 т семян га⁻¹ против среднемноголетнего уровня 0,6 т га⁻¹.

Однако прогнозируемый уровень урожайности сельскохозяйственных культур не даёт представление о предстоящих погодных условиях, ведь невысокая продуктивность растений может быть связана не только с засухой или жарой, но и с другими неблагоприятными явлениями, например, с избыточным увлажнением и (или) холодом.

Подекадный прогноз среднесуточной температуры воздуха за период вегетации – с третьей декады апреля по третью декаду августа в сравнении с аналогичными показателями за последние 30 лет позволяет судить о предстоящих погодных условиях (табл. 2).

2. Прогноз средней суточной за декаду температуры на предстоящий период вегетации полевых культур по г. Оренбургу, °С

Месяц	Декада	Методы прогноза		Средняя фактическая за 30 лет (1989–2018 гг.)
		остаточных отклонений по квазицикличности	авторегрессии временного ряда	
Апрель	3-я	8,8	10,9	10,4
Май	1-я	9,5	9,8	13,2
	2-я	17,5	11,2	16,2
	3-я	22,9	22,0	16,8
Июнь	1-я	17,9	11,8	17,8
	2-я	24,0–25,0	21,6	20,4
	3-я	26,6–27,6	23,6	20,8
Июль	1-я	24,2	20,5	21,4
	2-я	22,2	26,0	21,7
	3-я	25,0	25,0	21,5
Август	1-я	24,8	18,6	21,2
	2-я	26,0	23,2	19,6
	3-я	21,5	25,1	18,4

Для прогнозирования температуры использовали два различных метода, хорошо зарекомендовавших себя в прошлом [6, 8]: метод остаточных отклонений на основе квазицикличности и метод авторегрессии временного ряда. Оценка моделей также проводилась по внешнему тесту – результату 2018 г.

Среднесуточная температура воздуха – 22°С для большинства видов растений является пограничной от оптимальной к экстремально высокой, особенно в условиях недостаточного увлажнения, поскольку этот уровень для центральной зоны Оренбургской области, как правило, соответствует максимальной температуре 30°С в дневное время суток.

По методу остаточных отклонений экстремально высокая температура воздуха 22,9°С может наблюдаться в 3-й декаде мая, а затем после кратковре-

менного похолодания до 17,9°C в 1-й декаде июня, жара усилится и может наблюдаться в течение 70 сут. до 3-й декады августа.

Метод авторегрессии свидетельствует о волнообразной динамике температуры воздуха в течение периода вегетации, но также подтверждает экстремально высокую температуру воздуха на протяжении 60 сут. вегетационного периода: в 3-й декаде мая, 3-й декаде июня, 2-й и 3-й декадах июля и августа.

Оба метода предупреждают о высокой вероятности избыточных температур и воздействии теплового стресса на растения в период их активной вегетации.

В условиях сухой степной зоны большое значение придаётся формированию начальных запасов продуктивной почвенной влаги за счёт осадков холодного периода — с сентября года, предшествующего урожаю, по апрель текущего года (табл. 3).

3. Прогноз ожидаемых запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на опытном поле ФНЦ БСТ РАН (п. Нежинка Оренбургского района)

Месяц года	Осадки под урожай, мм		
	среднее за 1989–2018 гг. (норма)	2018 г. (фактические)	2019 г. (факт и расчёт)
Сентябрь пр.	30	20	15
Октябрь пр.	33	43	37
Ноябрь пр.	32	22	27
Декабрь пр.	31	10	20
Январь	28	8	26
Февраль	23	10	22
Март	28	32	20
Апрель	28	25	28*
Итого	233	170	195
Коэффициент трансформации осадков в почвенную влагу, %	56	53	56*
Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм	130	90	109**

Примечание: * по норме за период (1989–2018 гг.); ** прогноз по расчёту

В таблице не показано наличие остаточной влаги для начала сентября 2017 и 2018 гг., поскольку оно незначительно и равно по 1 мм в метровом слое почвы.

Оптимальные условия увлажнения создают запасы продуктивной влаги на уровне 75–80% от наименьшей влагоёмкости почвы, что соответствует 150–160 мм продуктивной влаги. Многолетние наблюдения за последние 30 лет (1989–2018 гг.) показали, что фактические начальные влагозапасы на уровне 130 мм сформировались из 233 мм осадков холодного периода, при этом коэффициент трансформации осадков в продуктивную влагу почвы не превышал 56%.

В 2018 г. из 170 мм осадков в почвенную влагу трансформировалось 53%, что составило 90 мм продуктивной влаги в метровом слое почвы.

В 2019 г. с учётом фактических осадков за холодный период года запасы продуктивной влаги в почве

опытного участка в районе п. Нежинка ожидаются на уровне 109 мм, что значительно меньше оптимальных и нормы, но несколько больше уровня 2018 г.

Выводы. Долгосрочный прогноз урожайности полевых культур в степной зоне Оренбургского Приуралья и средней суточной температуры воздуха подекадно на предстоящий период вегетации, а также расчёт ожидаемых начальных запасов продуктивной почвенной влаги, выполненные с использованием комплекса различных статистических методов, представляют собой сценарий, по которому с высокой вероятностью будет происходить формирование продуктивности растений.

Отсутствие продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале сентября 2018 г. и недостаточное количество осадков — 195 мм за холодный период года (сентябрь 2018 г. — апрель 2019 г.), прогноз экстремально высокой температуры в летний период могут способствовать значительному снижению продуктивности посевов озимой ржи и яровых зерновых культур. Прогноз урожайности полевых культур, выполненный независимо от прогноза метеорологических факторов, также подтверждает данный сценарий. В условиях жары и засухи 2019 г. приоритет должны иметь подсолнечник и другие жаростойкие культуры.

Литература

- Неверов А.А. Современные тенденции изменения урожайности зернофуражных культур в Оренбургской области // Вестник мясного скотоводства. 2014. № 3 (86). С. 125–130.
- Неверов А.А. Современные тенденции изменения климата в Оренбургской области // Вестник мясного скотоводства. 2015. № 1 (89). С. 117–121.
- Неверов А.А. Влияние погодных факторов на продуктивность ячменя в восточной зоне Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-3/Articles/NAA-2017-3.pdf>.
- 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.
- 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).
- Неверов А.А. Альтернативные модели долгосрочного прогнозирования урожайности зерновых культур для степной зоны Оренбуржья. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. 1: 8 с. [Электронный ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-1/Articles/NAA-2018-1.pdf>).
- Неверов А.А. Долгосрочное прогнозирование урожайности полевых культур в Оренбургском Приуралье на основе ретроспективной экстраполяции временного ряда // Известия Оренбургского государственного университета. 2018. № 4 (72). С. 89–93.
- Неверов А.А. Методика совершенствования методов долгосрочного прогнозирования урожайности кормовых культур в Оренбургской области для принятия стратегических решений по совершенствованию систем земледелия в условиях изменяющегося климата. Оренбург, 2018. 46 с.
- Неверов А.А. Подготовка предикторов для моделей долгосрочного прогнозирования урожайности полевых культур // Животноводство и кормопроизводство. 2018. № 4 (101). С. 184–192.
- 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.
- Неверов А.А. Региональный прогноз урожайности полевых культур по аномалиям глобальных параметров климатической системы планеты // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (75). С. 15–20.