

ПРОГНОЗ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ

Неверов Александр Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур
Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской Академии Наук

460051, РФ, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1; тел. 8-922-621-72-36;
E-mail: nevaalex2008@yandex.ru

Ключевые слова: прогноз, телекоммуникация, ячмень, кукуруза, модель.

Для стабильного производства продукции полевых культур в регионах недостаточного и неустойчивого атмосферного увлажнения с экстремально высокой температурой воздуха большое значение имеет своевременное принятие управленческих решений по минимализации негативных последствий от экстремальных погодных условий. Управление урожаем в подобных условиях возможно только на основе долгосрочного прогнозирования продуктивности полевых культур и метеофакторов в предвегетационный период. В качестве объектов исследования рассматривали многолетние временные ряды урожайности ячменя и кукурузы в Оренбургском районе Оренбургской области (1979–2021 гг.). В качестве основных потенциальных предикторов для статистических моделей прогнозирования урожайности полевых культур использовали: факторы погодных условий региона, аномалии температуры воздуха нижней тропосферы в Северном и Южном полушариях над сушей и океаном, Океании, аномалии площади морского льда в Северном и Южном полушариях, индексы североатлантического колебания (САК) и ряд других индексов, влияющих на формирование глобального климата. В работе использовались принципы синоптико-статистического моделирования В.М. Лебедевой, разработанного в ФГБУ «ВНИИСХМ». Проведён анализ телекоммуникационных связей глобальных климатических аномалий с региональными параметрами продуктивности ячменя и кукурузы степного региона Оренбуржья, показан пример расчёта модели множественной регрессии для прогнозирования урожайности ячменя с учётом глобальных климатических изменений на планете. Температурные аномалии нижней тропосферы Северного полушария, наблюдаемые в отдалённый период времени: ноябре года, предшествующего урожаю и январе текущего года, показали сильную телекоммуникационную связь с продуктивностью кукурузы и ячменя за последние 42 года.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2021–2030 гг. ФНЦ БСТ РАН по теме (FNWZ-2022-0014)

Введение

Многолетний и успешный опыт долгосрочного прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в Оренбургской области [1–2] позволяет нам выделить ряд важных аспектов, на которые необходимо обратить особое внимание и руководствоваться для дальнейшей разработки и совершенствовании методов прогнозирования. Всё многообразие подходов в статистическом анализе можно представить в виде двух концепций, основанных на цикличности природных процессов и инертности переноса тепловой энергии по поверхности планеты. И в том и другом случае трансформация энергии представлена в виде волнового процесса. Основным источником энергии на нашей планете - это переменная энергия Солнца. Энергия солнечного ветра трансформируется в тепловую энергию подстилающей поверхности планеты, инерция этой трансформации позволяет прогнозировать отдалённые во времени процессы, определяющие будущую продуктивность растений.

Земля ведет себя как интегрированная система, состоящая из геосферы, атмосферы, гидросферы, криосферы, а также компонентов биосферы, с нелинейными взаимодействиями между ними. Растущее понимание многокомпонентных взаимодействий между физическими, химическими, биологическими и человеческими процессами предполагает необходимость объединения различных дисциплин и учета Земной системы в целом. Такие исследования и результаты предопределяют появление новой науки «о системах Земли» (ESS) [3]. Структура ESS уже продемонстрировала свой потенциал в качестве мощного инструмента для изучения динамических и структурных свойств функционирования Земли как сложной системы.

В климатологии [4] известен феномен Эль-Ниньо, который локализуется в основном в Тихом океане. Однако его воздействие ощущается на значительной части Земли. Эти отдаленные эффекты обычно называют телекоммуникация-

ми, подчеркивая, что изменение климатических условий в одном месте может повлиять на районы, удаленные от источника. Телекоммуникация обычно обозначается корреляцией между значениями, наблюдаемыми в двух отдельных точках или регионах. Это связано с характером изменчивости, связанной с распространением атмосферных волн, наличием океанических течений и т. д. Например, телесвязи с Североатлантическим колебанием (САК) и Эль-Ниньо являются основными примерами дальнедействующих корреляций, которые можно обнаружить в атмосфере. Из-за этих глобальных телекоммуникационных связей Эль-Ниньо приводит к увеличению количества осадков в центральной части Тихого океана и сухим условиям над Индонезией и Северной Австралией, гораздо более сухим и теплым условиям в Мозамбике, в то время, как западная часть США имеет тенденцию быть более влажной. Погодные условия статистически связаны с условиями Эль-Ниньо в течение бореальных зимних месяцев декабрь-январь-февраль. Выделены области, которые с некоторой степенью достоверности подвержены влиянию теплых фаз Эль-Ниньо, например аномалии «тепло-холод» и «влажно-сухо». Эффекты для холодных фаз Эль-Ниньо, Ла-Нинья находятся примерно в тех же регионах, но с противоположным знаком.

Работами учёных [4, 5] установлено, что наиболее сильное влияние на изменчивость урожая кукурузы в Танзании с 2009 по 2018 год оказывали аномалии температуры морской поверхности западной части Тихого океана со сроком наступления события 120 дней. Данное явление приводит к синхронному изменению количества осадков в Танзании.

Кроме данных о погоде, авторы [4] включили в модель аномалии месячной температуры поверхности моря (ТПМ) из зоны Эль-Ниньо. Аномалии температуры в зоне Эль-Ниньо и индоокеанский диполь (ИОД) показали положительную корреляцию с осадками над Восточной Африкой во время коротких дождей. Влияние этих показателей на осадки в Восточной Африке имеет запаздывание от нескольких недель до нескольких месяцев, что позволяет прогнозировать урожайность в более отдалённые сроки.

В нашей работе [6] доказана связь продуктивности посевов ячменя в Оренбургском регионе с глобальными климатическими изменениями в нижней тропосфере Северного полушария. Показано, что благодаря инертности процессов в климатической системе планеты возможно

заблаговременное прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур за 2-3 месяца до начала проведения полевых работ.

В основе статистических моделей заложен стохастический принцип их создания, что носит принципиальное отличие от физико-математических моделей, где результирующий фактор связан с предикторами функционально. В регрессионных моделях прогнозирования продуктивности растений в качестве независимых переменных выступают факторы погоды: температура, осадки, дефицит влажности воздуха, почвенное увлажнение и т.д. за различные периоды времени: декаду, месяц или другой определённый фазовый период. Наряду с погодными факторами конкретного региона свой вклад в детерминацию урожайности посевов сельскохозяйственных культур вносят глобальные климатические факторы, такие как теплоперенос Мирового океана, воздушные и морские течения, которые в моделях необходимо учитывать.

Исследователи [7] считают, что на земном шаре существует множество сложных индексов телекоммуникаций, характеризующих взаимосвязи между климатическими характеристиками в региональном и мировом масштабе. Конечно, это условие усложняет понимание механизма развития атмосферных процессов. Еще один важный момент заключается в том, что большая часть этих исследований, особенно внутренних, в основном сосредоточены на статистических взаимосвязях между явлениями, и они не могут физически объяснить основную причину, лежащую в основе механизма колебаний, изменение и особый тип погоды, на которые влияет индекс телесвязи.

Цель исследования – долгосрочный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур для центральной зоны Оренбургской области на 2022 год на основе телекоммуникационных связей.

Материалы и методы исследований

Объекты исследования - многолетние временные ряды урожайности ячменя и кукурузы в Оренбургском районе Оренбургской области (1979-2021 гг.).

В качестве основных потенциальных предикторов для статистических моделей прогнозирования урожайности полевых культур использовали:

- факторы погодных условий: за период с 1-ой декады августа года, предшествующего году наблюдений по 3-ю декаду февраля текущего года: температура воздуха средняя, мак-

симальная и минимальная, среднесуточный дефицит влажности воздуха, осадки по г. Оренбургу (1979-2022 гг.) по данным Оренбургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Приволжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»;

- аномалии температуры: воздуха нижней тропосферы в Северном и Южном полушариях над сушей и океаном, Океании (1979-2022 гг.);

- аномалии площади морского льда в Северном и Южном полушариях (1979-2022 гг.);

- индексы североатлантического колебания (САК). Индекс САК является суммарным измерением состояния циркуляции в средних широтах Северной Атлантики. САК отражает колебание атмосферной массы между севером и югом Северной Атлантики с центрами в районе Исландии (минимум) и в районе Азорских островов (максимум).

- среднемесячные данные приземного давления (индекс SOI). Индекс SOI представляет стандартизованную разность нормализованных среднемесячных аномалий давления на станциях Таити и Дарвин, в котором отражается сущность явления Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), что представляет самый большой и наиболее важный сигнал в межгодовой климатической изменчивости в системе океан-атмосфера, наблюдается регулярно, каждые 2 – 7 лет.

Данные получены с сайта Национального центра климатических данных США и Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового Центра Данных (ВНИИГМИ – МЦД) в г. Обнинске РФ.

Для исследования влияния глобальных параметров климатической системы на урожайность сельскохозяйственных культур в Оренбургской области нами использовались принципы синоптико-статистического моделирования В.М. Лебедевой, разработанного в ФГБУ «ВНИИ-ИСХМ». Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе регрессии параметров климатической системы планеты хорошо зарекомендовало себя для прогнозирования валовых сборов зерна по субъектам РФ. В настоящее время прогнозы ВНИИСХМ используются Правительством РФ для планирования в сфере народного хозяйства страны. Отличие нашего подхода от авторского заключается в подборе параметров климатической системы планеты и региона для точечного прогнозирова-

ния урожайности на уровне административного района области.

Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур осуществлено с помощью множественной регрессии в программе Statistica 6.1.

Результаты исследований

На примере 43-летнего временного ряда ячменя создана и записана в табличной форме модель множественной регрессии для прогнозирования урожайности зерна в Оренбургском районе, территориально входящего в центральную зону Оренбуржья (табл.1).

Данная эмпирическая модель прошла проверку в предшествующие два года и показала высокую работоспособность [6]. В качестве предикторов использованы аномалии температуры, сложные планетарные индексы глобальных климатических параметров, а также погодные условия, сложившиеся в Оренбургском районе в год предшествующий урожаю. Коэффициент множественной корреляции модели достиг $R = 0,92$, что детерминирует 84% изменчивости результативного признака. Все коэффициенты предикторов прошли тестирование по t - критерию Стьюдента и показали высокую достоверность.

В модели β -стандартизованный коэффициент показывает силу воздействия предиктора на результативный признак. Например, его значение для аномалии температуры нижней тропосферы Северного полушария над океаном составило $-0,71$, что означает: изменение данного параметра на одно стандартное отклонение -1σ способствует изменению результативного признака, т.е. урожайности на величину, равную $0,71\sigma$ в пределах вариации значений данного временного ряда. Изменение температуры нижней тропосферы над океаном Северного полушария в январе прогнозируемого года с высокой долей вероятности может влиять на условия вегетации для ячменя, что приведёт к изменению его продуктивности.

Графически показана такая связь, подтверждающая негативное влияние роста температуры нижней тропосферы на продуктивность посевов ячменя (рис.1).

Коэффициент корреляции между указанными параметрами достаточно высокий ($R = -0,63$). Стрелкой показано возможное значение урожайности ячменя на уровне 11-12 ц с 1 га при текущем значении аномалии, равной $0,04$ $^{\circ}\text{C}$. Поскольку температура нижней тропосферы понизилась в текущем году, вероятен рост уро-

Таблица 1

Модель регрессии для прогнозирования урожайности ячменя в Оренбургском районе Оренбургской области в 2022 году

Итоги регрессии для зависимой переменной: Коэффициент множественной корреляции R= 0,92 Коэффициент детерминации R ² = 0,84 Критерий Фишера F(7,35)=25,9 Стандартная ошибка оценки: 2,3 ц с 1 га				
Предикторы	β - стандартизованный коэффициент	B-коэффициент регрессии	t - критерий(35)	p-уровень достоверности .
Начальная ордината	-	9,11±1,7	5,5	0,000
Аномалия температуры нижней тропосферы Северного полушария над океаном в январе текущего года, С°	-0,71±0,09	-11,65±1,5	-8,1	0,000
Индекс длинноволнового излучения земной поверхности в феврале года, предшествующего урожаю	-0,16±0,07	-0,65±0,3	-2,3	0,026
Аномалия температуры над Океанией в сентябре года, предшествующего урожаю, С°	-0,30±0,07	-2,48±0,6	-4,0	0,000
Аномалия температуры над Океанией в феврале текущего года, С°	0,29±0,08	2,71±0,8	3,5	0,001
Осадки декабря года, предшествующего урожаю, мм	0,31±0,07	0,11±0,02	4,50	0,000
ДВВ 3-ей декады августа года, предшествующего урожаю, гПа	0,19±0,07	0,22±0,08	2,68	0,011
Температура воздуха 3 декады января текущего года, С°	0,39±0,07	0,41±0,07	5,62	0,000

Таблица 2

Прогноз урожайности ячменя по параметрам модели

Предикторы	B-коэффициент регрессии	Значение предиктора	Взвешенные веса
Аномалия температуры нижней тропосферы Северного полушария над океаном в январе текущего года, С°	-11,65	0,04	-0,47
Индекс длинноволнового излучения земной поверхности в феврале года, предшествующего урожаю	-0,65	1,1	-0,72
Аномалия температуры над Океанией в сентябре года, предшествующего урожаю, С°	-2,48	0,9	-2,23
Аномалия температуры над Океанией в феврале текущего года, С°	2,71	1,0	2,71
Осадки декабря года, предшествующего урожаю, мм	0,11	11,0	1,19
ДВВ 3-ей декады августа года, предшествующего урожаю, гПа	0,22	26,0	5,82
Температура воздуха 3 декады января текущего года, С°	0,41	-12,0	-4,93
Начальная ордината	-	-	9,11
Предсказанная урожайность, ц с 1 га	-	-	10,5
-95,0%ДП	-	-	8,0
+95,0%ДП	-	-	13,1

жайности ячменя относительно прошлого года.

Прогноз урожайности ячменя, рассчитанный по параметрам модели, подтверждает наши предположения (табл. 2).

В совокупности 7 предикторов, вошедших в модель прогноза, могут определить урожайность зерна ячменя в 2022 году на уровне 8,0-13,1 ц с 1 га при среднем значении равном 10,5 центнерам.

Аналогичная телекоммуникационная связь обнаружена между урожайностью зелёной массы кукурузы и аномалией температуры ниж-

ней тропосферы Северного полушария в ноябре предшествующего года урожаю (рис. 2).

Коэффициент парной корреляции между параметрами достаточно высокий ($R \approx -0,7$) и отражает обратную связь между ростом температуры в Северном полушарии и урожаем кукурузы в центральной зоне Оренбуржья.

По данным Национального центра климатических данных США положительная аномалия температуры нижней тропосферы Северного полушария в ноябре 2021 года была близка к нулю и меньше уровня 2020 года, поэтому по-

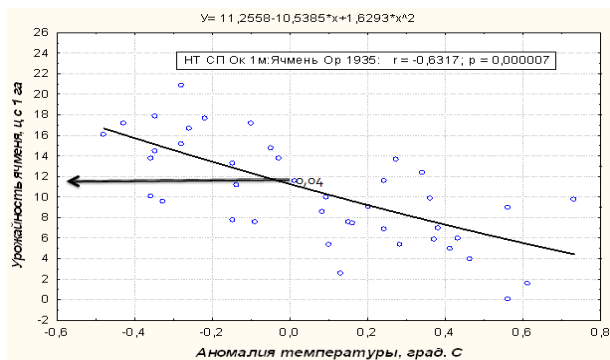


Рис. 1 - Телекоммуникационная связь урожайности ячменя с аномалией температуры нижней тропосферы Северного полушария над океаном в январе года формирования урожая

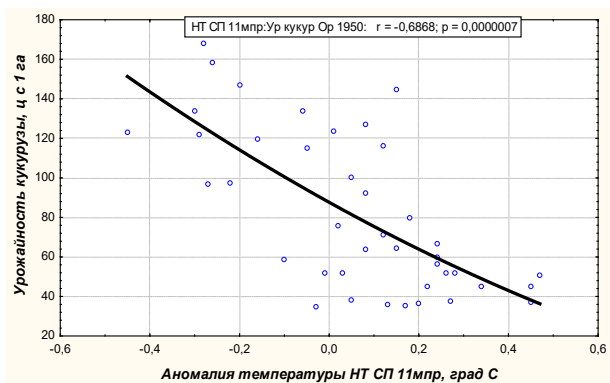


Рис. 2 - Телекоммуникационная связь между урожайностью кукурузы и аномалией температуры нижней тропосферы Северного полушария в ноябре года, предшествующего урожаю

вышается вероятность формирования лучших погодных условий в период вегетации кукурузы в центральной зоне Оренбуржья и как следствие - более высокой урожайности относительно 2021 года.

Обсуждение

Возможность долгосрочного прогнозирования погодных условий на основе телекоммуникационных связей в последнее время широко обсуждается климатологами и гидрометеорологами. Актуальность данного направления исследований, особенно в последнее десятилетие, вызвана, прежде всего, существенными аномалиями во многих регионах мира и в большей степени в регионах с умеренным климатом Северного Полушария. В наибольшей степени современные изменения климата затронули Оренбургскую область. Если по планете наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха за последние сто лет на 0,75-0,8°C, то в Оренбуржье за этот же период – на 3,9°C т.е.

скорость изменений превышает среднюю по планете более, чем в 4 раза. Последствия такого роста температуры приводят к арридизации и опустыниванию степного региона.

Наши исследования на примере ячменя и кукурузы подтверждают выводы других специалистов [8, 9, 10, 11] о существовании телекоммуникационных связей между глобальными параметрами климатической системы Земли и региональными изменениями погоды.

Тесные взаимодействия и связи между частями земной системы (океан, атмосфера и поверхность суши) привели к формированию и эволюции глобальной климатической системы [12, 13, 14].

Среди множества типов климатических индексов телесвязи Nino 3.4, Тихоокеанское десятилетнее колебание (PDO), индексы Южного колебания (SOI) и Атлантическое многодекадное колебание (AMO) являются значимыми индикаторами взаимодействия между океаном и атмосферой во всем мире [15,16,17], поэтому изучение влияния индексов связи на геоклиматические системы в условиях изменения климата имеет решающее значение.

Погодные условия в регионе в значительной степени зависят от температурных аномалий планетарного масштаба. Климатическая система планеты функционирует как единое целое. Антропогенный фактор и естественные природные факторы (солнечная активность), увеличивающие энергосодержание Земной системы, воздействуют в разной степени на всю систему.

Выявление телекоммуникационных связей между урожайностью агрокультур и аномалиями глобальных климатических факторов – это только начальный этап для создания математической модели прогнозирования. Многие факторы климата, как правило, имеют между собой тесную линейную корреляционную связь и поэтому не могут входить в состав регрессионной модели как независимые переменные. Некоторые исследователи [18,19,20] предлагают использовать в таком случае искусственные нейронные сети (ИНС) как средство преодоления мультиколленеарности модели, однако, наш многолетний опыт успешного прогнозирования продуктивности агрокультур показывает, что модели ИНС по формальным критериям превосходят множественную линейную регрессию, но фактически существенно уступают им по надёжности прогноза и не являются работоспособными. Они имитируют прогноз, но прогно-

стическими не являются.

В нашем примере модель множественной регрессии создана на основе достоверных источников. Для создания модели использован длительный временной ряд – 42 года. В модель вошли семь предикторов, характеризующих погодные условия предшествующих периодов в регионе и глобальные климатические аномалии, достоверно влияющие на результирующий признак. Главное для прогностической модели её сбалансированность и работоспособность. Соблюдено правило: число наблюдений превышает количество предикторов в модели более, чем в 5 раз. Приоритетом при создании моделей такого плана является глубокий анализ причинно-следственных связей. Математика важна, но это всего лишь инструмент в умелых руках исследователя и её роль всегда вторична после логического анализа.

Заключение

На основе принципов синоптико-статистического моделирования показана возможность долгосрочного прогнозирования продуктивности полевых культур на примере ячменя и кукурузы для Оренбургского района Оренбургской области.

Температурные аномалии нижней тропосферы Северного полушария, наблюдаемые в отдалённый период времени: ноябре года предшествующего урожаю и январе текущего года показали сильную телекоммуникационную связь с продуктивностью кукурузы и ячменя с коэффициентами парной корреляции $R = 0,63-0,7$ за последние 42 года.

Успешный опыт долгосрочного прогнозирования может найти применение в других регионах планеты с высокой зависимостью от колебаний погодных условий с локализацией на уровне административных районов региона.

Библиографический список

1. Неверов, А. А. Прогноз урожайности сельхозкультур для центральной зоны Оренбургской области альтернативными методами на 2020 год / А. А. Неверов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2020. - № 3(83). - С. 14-18. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43680034>

2. Неверов, А. А. Прогноз урожайности полевых культур и погодных условий вегетационного периода для степного Оренбуржья в 2021 году / А. А. Неверов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2021. - № 4(90). – С. 9-14. - DOI: 10.37670/2073-

0853-2021-90-4-9-14

3. Origin and evolution of the science of Earth systems. NAT / W. Stefan, K. Richardson, J. Rockström, H. J. Schellnhuber, O. P. Lube, S. Dutreuil, T. M. Anton, J. Lubchenco // *Reverend Earth Environ.* – 2020. - № 1(1). – P. 54–63. - DOI: 10.1038/s43017-019-0005-6. <https://www.nature.com/articles/s43017-019-0005-6>. [CrossRef] [Google Scholar].

4. Reliable forecasting of maize yields in Tanzania based on climate predictors / R. Laudien, B. Schauburger, D. Makowsky, C. Gornot // *Ssi Rep.* – 2020. - 10(1). – P.19650. - Published In 2020 On November 12. - doi:10.1038/s41598-020-76315-8.

5. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and cross-comparisons. J. Klim / B. Huang [et al.]. – 2017. -30. – P. 8179-8205. - doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1. [CrossRef] [Google Scholar]

6. Неверов, А. А. Влияние глобальных изменений в климатической системе планеты на погодно-климатические условия Оренбуржья и продуктивность растений / А. А. Неверов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2020. - № 4(84). - С. 19-25. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43933970>.

7. Iran's precipitation analysis using synoptic modeling of major teleconnection forces (MTF) / M. Ahmadi, S. S. ib Seyed, A. H. H. Poorantiyoshd, A. Bayate // *Dynamics of Atmospheres and Oceans.* – 2019. – Vol. 85. – P. 41-56. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2018.12.001>.

8. Hu, W. Multiple wavelet coherence for untangling scale-specific and localized multivariate relationships in geosciences / W. Hu, B. C. Si // *Hydrology and Earth System Sciences.* – 2016. – 20(8). – P. 3183-3191.

9. Modelling the impacts of global multi-scale climatic drivers on hydro-climatic extremes (1901–2014) over the Congo basin / Christopher E. Ndehedehe [et al.] // *Science of The Total Environment.* – 2019. – 651. – P. 1569-1587.

10. Evolutionary drought patterns over the Sahel and their teleconnections with low frequency climate oscillations / Christopher E. Ndehedehe [et al.] // *Atmospheric Research.* – 2020. – 233. – P. 104700.

11. Valcárcel, A. T. Teleconnections between ENSO and rainfall and drought in Puerto Rico / A. T. Valcárcel // *International Journal of Climatology.* – 2018. -38(5). – P. e1190-e1204.

12. Gupta, V. Impact of ENSO, global warming, and land surface elevation on extreme precipitation in India / V. Gupta, M. K. Jain // *Journal*

of Hydrologic Engineering. - 2020. - 25(1). - P. 05019032.

13. Globally observed trends in mean and extreme river flow attributed to climate change / L. Gudmundsson [et al.] // Science. - 2021. - 371(6534). - P. 1159-1162.

14. Global terrestrial water storage and drought severity under climate change / Y. Pokhrel [et al.] // Nature Climate Change. - 2021. - 11(3). - P. 226-233.

15. Xiao, M. Influences of ENSO, NAO, IOD and PDO on seasonal precipitation regimes in the Yangtze River basin, China / M. Xiao, Q. Zhang, V. P. Singh // International Journal of Climatology. - 2015. - 35(12). - P. 3556-3567.

16. Dutta, R. Temporal evolution of hydroclimatic teleconnection and a time-varying model for long-lead prediction of Indian summer monsoon rainfall / R. Dutta, R. Maity // Scientific reports. - 2018. - 8(1). - P. 1-10.

17. Quantifying the impacts of ENSO and IOD on rain gauge and remotely sensed precipitation products over Australia / E. Forootan [et al.] // Remote sensing of Environment. - 2016. - 172. - P. 50-66.

18. Integrating satellite and climate data to predict wheat yield in Australia using machine learning approaches / Y. Cai [et al.] // Agricultural and forest meteorology. - 2019. - 274. - P. 144-159.

19. Crane-Droesch, A. Machine learning methods for crop yield prediction and climate change impact assessment in agriculture / A. Crane-Droesch // Environmental Research Letters. - 2018. - 13(11). - P. 114003.

20. Sakamoto, Toshihiro. "Incorporating environmental variables into a MODIS-based crop yield estimation method for United States corn and soybeans through the use of a random forest regression algorithm." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 160 (2020): 208-228.

PRODUCTIVITY FORECAST OF FIELD CROPS BASED ON TELECOMMUNICATIONS

Neverov A.A.

Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
460051, Russian Federation, Orenburg, Gagarin Ave. 27/1; tel. 8-922-621-72-36;
E-mail: nevalex2008@yandex.ru

Keywords: forecast, telecommunications, barley, corn, model.

For stable production of field crops in regions of insufficient and unstable atmospheric moisture with extremely high air temperatures, it is vital to make timely management decisions to minimize the negative consequences of extreme weather conditions. Yield management in such conditions is possible only on the basis of long-term forecast of productivity of field crops and meteorological factors in the pre-vegetation period. Long-term time series of barley and corn yields in Orenburg district of Orenburg region (1979-2021) were considered as objects of the research. The following factors were used as the main potential predictors of statistical models for predicting the yield of field crops: factors of the weather conditions of the region, anomalies of the air temperature of the lower troposphere in the Northern and Southern hemispheres over land and ocean, Oceania, anomalies of sea ice area in the Northern and Southern hemispheres, North Atlantic Oscillation indexes (NAO) and a number of other indexes that influence formation of the global climate. The principles of synoptic-statistical modeling by V.M. Lebedeva, developed at Federal State Budgetary Institution "ARRIAM", were applied. The analysis of telecommunication links of global climatic anomalies with regional parameters of barley and corn productivity in the steppe region of Orenburg region was carried out, an example of calculation of a multiple regression model for predicting barley yields taking into account global climate changes on the planet was shown. Temperature anomalies of the lower troposphere of the Northern Hemisphere observed in the remote period of time: November of the year preceding the harvest and January of the current year showed a strong telecommunication link with corn and barley productivity over the past 42 years.

Bibliography:

1. Neverov, A. A. Forecast of crop yields by alternative methods for the central zone of Orenburg region for 2020 / A. A. Neverov // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2020. - №3 (83). - P. 14-18. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43680034>
2. Neverov, A. A. Forecast of yield of field crops and weather conditions of the vegetation season for the steppe Orenburg region in 2021 / A. A. Neverov // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2021. - №4(90). - P. 9-14. - DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-9-14
3. Origin and evolution of the science of Earth systems. NAT / W. Stefan, K. Richardson, J. Rockström, H. J. Schellnhuber, O. P. Lube, S. Dutreuil, T. M. Anton, J. Lubchenco // Reverend Earth Environ. - 2020. - №1(1). - P. 54-63. - DOI: 10.1038/s43017-019-0005-6. <https://www.nature.com/articles/s43017-019-0005-6>. [CrossRef][Google Scholar].
4. Reliable forecasting of maize yields in Tanzania based on climate predictors / R. Laudien, B. Schauburger, D. Makowsky, C. Gornot // Ssi Rep. - 2020. - 10(1). - P.19650. - Published In 2020 On November 12. - doi:10.1038/s41598-020-76315-8.
5. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and cross-comparisons. J. Klim / B. Huang [et al.]. - 2017. -30. - P. 8179-8205. - doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1. [CrossRef][Google Scholar]
6. Neverov, A. A. Influence of global changes in the planet climate system on weather and climatic conditions of Orenburg region and plant productivity / A. A. Neverov // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2020. - №4 (84). - P. 19-25. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43933970>.
7. Iran's precipitation analysis using synoptic modeling of major teleconnection forces (MTF) / M. Ahmadi, S. S. ib Seyed, A. H. H. Poorantiyoshd, A. Bayate // Dynamics of Atmospheres and Oceans. - 2019. - Vol. 85. - P. 41-56. - URL: <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2018.12.001>.
8. Hu, W. Multiple wavelet coherence for untangling scale-specific and localized multivariate relationships in geosciences / W. Hu, B. C. Si // Hydrology and Earth System Sciences. - 2016. - 20 (8). - P. 3183-3191.
9. Modeling the impacts of global multi-scale climatic drivers on hydro-climatic extremes (1901–2014) over the Congo basin / Christopher E. Ndehedehe [et al.] // Science of The Total Environment. - 2019. - 651. - P. 1569-1587.
10. Evolutionary drought patterns over the Sahel and their teleconnections with low frequency climate oscillations / Christopher E. Ndehedehe [et al.] // Atmospheric Research. - 2020. - 233. - P. 104700.
11. Valcárcel, A. T. Teleconnections between ENSO and rainfall and drought in Puerto Rico / A. T. Valcárcel // International Journal of Climatology. - 2018. -38(5). - P. e1190-e1204.
12. Gupta, V. Impact of ENSO, global warming, and land surface elevation on extreme precipitation in India / V. Gupta, M. K. Jain // Journal of Hydrologic Engineering. - 2020. - 25(1). - P. 05019032.

13. Globally observed trends in mean and extreme river flow attributed to climate change / L. Gudmundsson [et al.] // *Science*. - 2021. - 371 (6534). - P. 1159-1162.
14. Global terrestrial water storage and drought severity under climate change / Y. Pokhrel [et al.] // *Nature Climate Change*. - 2021. - 11(3). - P. 226-233.
15. Xiao, M. Influences of ENSO, NAO, IOD and PDO on seasonal precipitation regimes in the Yangtze River basin, China / M. Xiao, Q. Zhang, V. P. Singh // *International Journal of Climatology*. - 2015. - 35(12). - P. 3556-3567.
16. Dutta, R. Temporal evolution of hydroclimatic teleconnection and a time-varying model for long-lead prediction of Indian summer monsoon rainfall / R. Dutta, R. Maity // *Scientific reports*. - 2018. - 8(1). - P. 1-10.
17. Quantifying the impacts of ENSO and IOD on rain gauge and remotely sensed precipitation products over Australia / E. Forootan [et al.] // *Remote sensing of Environment*. - 2016. - 172. - P. 50-66.
18. Integrating satellite and climate data to predict wheat yield in Australia using machine learning approaches / Y. Cai [et al.] // *Agricultural and forest meteorology*. - 2019. - 274. - P. 144-159.
19. Crane-Droesch, A. Machine learning methods for crop yield prediction and climate change impact assessment in agriculture / A. Crane-Droesch // *Environmental Research Letters*. - 2018. - 13(11). - P. 114003.
20. Sakamoto, Toshihiro. "Incorporating environmental variables into a MODIS-based crop yield estimation method for United States corn and soybeans through the use of a random forest regression algorithm." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 160 (2020): 208-228.