

УДК 633.1:631.559:551.58(470.51)(045)

*И.И. Рысин, П.Б. Акмаров, О.П. Князева***МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР (НА МАТЕРИАЛАХ УДМУРТИИ)**

Показана динамика изменения урожайности зерновых культур Удмуртии за период с 1913 по 2018 г. во взаимосвязи с изменениями климатических условий в аграрной отрасли региона. Выявлены тенденции развития растениеводства и доказано влияние метеорологических показателей на эффективность земледелия. Рассмотрены корреляционные связи (r) урожайности зерновых с температурным режимом и влагообеспеченностью в отдельные периоды роста растений. Установлено, что наибольшую роль в формировании урожая имеют климатические условия роста растений в июне месяце. При этом осадки оказывают положительное воздействие ($r = 0,45$), а температурные условия – отрицательное. Отмечается положительная связь урожайности со среднегодовой температурой прошлого года ($r = 0,51$). Получены регрессионные модели различных видов для прогнозирования урожайности и оценена роль каждого климатического фактора в этих моделях. Наиболее значимыми по влиянию на урожайность оказались температуры июня и июля месяцев, а также осадки в летний период. На основе анализа временных рядов метеорологических показателей по температурам и осадкам в летний период получены уравнения тренда, которые на многолетнем интервале доказывают закономерности роста среднесуточной температуры и среднемесячных осадков. Расчет стандартизованных коэффициентов регрессии позволил выделить июньские показатели, положительное воздействие которых на урожайность в 18 раз превышает другие факторы. Также достаточно существенное прямое влияние на рост растений оказывает средняя температура апреля, определяющая интенсивность почвенных процессов. Одновременно выявлено существование циклических составляющих в изменениях температуры и осадков, а также рассчитана периодичность этих циклов. Циклические составляющие по осадкам имеют период повторения примерно через каждые 7 лет, а по температуре намного реже – через 12 лет. Показаны возможности применения полученных моделей для решения управленческих задач.

Ключевые слова: урожайность зерновых культур, климатические условия, корреляционная связь, регрессионная модель, временной ряд, уравнение тренда.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-4-465-472

В последние годы сельскохозяйственное производство в нашей стране имеет стабильную положительную динамику как в растениеводстве, так и в животноводстве. Базисом роста аграрного производства является неуклонное повышение урожайности сельскохозяйственных культур, прежде всего зерновых [1]. Сегодня зерно стало стратегической основой продовольственной безопасности страны, так как оно полностью обеспечивает потребности населения, является основным экспортным товаром и покрывает потребности отраслей животноводства и птицеводства в фуражных кормах. Однако, потенциал роста объемов производства зерна еще далеко не исчерпан.

Урожайность зерновых культур зависит от множества факторов, включая климатические и природно-экономические условия, технологические особенности возделывания, сорта и биологического потенциала культур [2]. Следует отметить, что, благодаря научно-техническому прогрессу, совершенствованию технологий, повышению сортовых качеств растений, урожайность зерновых стабильно растет. Так, по нашим наблюдениям, за прошедшие сто лет в Удмуртии средняя урожайность зерновых возросла более, чем в 3 раза [3].

Среди климатических условий наиболее существенное значение имеют осадки и температура окружающей среды. Эти факторы являются определяющими в вариации урожайности, поэтому исследованию их роли и регулированию влияния природных факторов уделяется огромное внимание [4; 5]. Значительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур оказывают и опасные гидрометеорологические явления, число которых в нашей стране, по данным Росгидромета, возрастает ежегодно в среднем на 6–7 %. Исследования показывают, что изменение климата привело к увеличению повторяемости и интенсивности опасных явлений погоды (град, гроза, ливневые осадки, шквалистый ветер, смерчи, и т.д.), неравномерности их территориального распределения и увеличению причиняемого ими материального ущерба [6–8].

Как видно из рис. 1, несмотря на положительную тенденцию роста урожайности зерновых культур в Удмуртии, в отдельные периоды наблюдается и спад этого показателя, который обусловлен именно метеорологическими показателями. Так, наибольший спад урожайности в 1995–1999 гг. при-

шелся на период сильнейшей засухи 1995 г., когда среднегодовое количество осадков составило только чуть более половины среднегодовой нормы. Аналогичный спад был в период с 2010 по 2014 г., когда в 2010 и в 2012 гг. были периоды сильной засухи. Немаловажное значение на формирование урожая имеет и температура воздуха, которая напрямую связана с интенсивностью солнечной энергии. Здесь на влияние температуры накладывается еще и фактор света, как важнейший стимулятор роста растений [9].

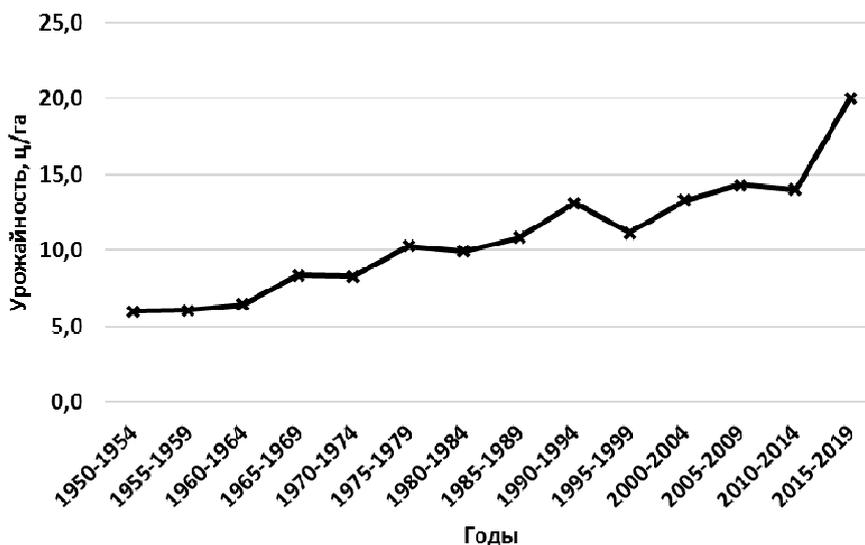


Рис. 1. Динамика урожайности зерновых в Удмуртии

Для России с ее огромными земельными ресурсами и крайне низкой эффективностью использования потенциала аграрного производства задача повышения плодородия земель и снижения рисков от природно-климатических факторов имеет решающее значение не только для развития производства, но и для обеспечения продовольственной безопасности страны [3]. Поэтому целью данного исследования является выявление взаимосвязей (корреляционных, регрессионных) между метеорологическими факторами и урожайностью зерновых культур на примере Удмуртии за 1951–2018 гг. и построение прогностических моделей.

Материалы и методы исследований

Для того, чтобы выделить роль климатических факторов нами проведен анализ временных рядов по урожайности зерновых в Удмуртии за период с 1913 по 2018 г. и климатических факторов на основе данных метеонаблюдений за период с 1951 по 2018 г. (предоставлены Удмуртским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды) в трех точках, расположенных на метеостанциях городов Ижевск, Глазов и Сарапул. Фрагмент этих наблюдений показан в табл. 1. Как видим, разброс температур по годам в период роста растений составляет от двух до трех раз, а количество выпавших осадков может отличаться более, чем в десять раз. Наибольшему разбросу подвержены температуры апреля и осадки в летний период. Конечно, такая существенная вариация не может не повлиять на рост растений. Недаром Удмуртия считается территорией рискованного земледелия, и поэтому добиваться стабильных урожаев в этих условиях значительно сложнее [5].

При выполнении исследования применялся широкий математический инструментарий, современные компьютерные программы, включая программный комплекс StatGraf и соответствующие приложения Microsoft Office. В работе использованы методы математической статистики: анализ временных рядов, корреляционный и регрессионный анализы.

Результаты и их обсуждение

Влияние климатических факторов в период созревания урожая на выход продукции с единицы площади с 1951 по 2018 гг. показано в табл. 2. Как видим, наибольшую роль в формировании урожая имеют внешние условия роста растений в июне месяце. При этом осадки оказывают положительное

воздействие ($r = 0,45$), что объясняется потребностью растений во влаге в период наиболее интенсивного созревания. Температура же оказывает в этот период отрицательное воздействие на урожайность ($r = -0,301$), так как зачастую высокая температура в июне связана с засухами, что приводит к торможению роста, развитию болезней, распространению вредителей растений [4].

Таблица 1

Климатические условия роста растений в Удмуртии

Год	Средние температуры, °С				Среднемесячные осадки, мм		
	апрель	май	июнь	июль	май	июнь	июль
1951	8,74	10,78	17,29	18,23	70,63	22,32	55,01
1952	0,91	10,98	18,05	21,13	40,08	61,87	45,23
1953	6,40	11,37	17,25	20,05	67,50	25,51	43,06
1954	3,53	12,20	17,79	21,99	41,40	44,76	71,58
1955	1,73	11,59	16,70	16,35	69,96	36,02	50,67
...
2010	5,62	15,34	18,60	22,48	24,58	30,77	12,85
2011	3,47	12,78	16,48	21,13	22,79	74,57	94,80
2012	7,75	13,25	18,75	19,75	52,75	70,25	66,50
2013	4,23	12,73	19,20	19,93	32,80	31,37	64,87
2014	1,90	15,30	15,83	15,67	16,43	94,00	52,57
2015	3,62	14,53	19,20	15,38	44,37	53,27	119,37
2016	6,52	13,63	16,61	20,94	20,73	56,17	32,03
2017	2,53	9,07	14,53	17,87	39,37	91,60	119,70
2018	2,60	11,47	14,77	20,67	44,03	59,93	58,00
Среднее	3,62	11,71	16,57	18,66	44,20	61,55	67,91
Минимум	-2,67	6,36	11,50	15,03	9,36	6,66	12,85
Максимум	9,42	15,75	20,85	22,48	117,40	133,63	138,31
Дисперсия	6,13	4,34	3,86	3,60	501,84	757,55	807,51

Таблица 2

Коэффициенты корреляции климатических факторов с урожайностью зерновых культур в Удмуртии

Климатический фактор	Месяц				
	апрель	май	июнь	июль	август
Осадки	0,184	0,005	0,450	0,045	0,010
Температура	0,117	-0,002	-0,301	-0,149	0,012

Приведенные в табл. 2 коэффициенты корреляции рассчитаны при 95%-м уровне значимости.

Однако, надо отметить, что в условиях Удмуртии урожайность зерновых зависит и от более длительного последствия климата. Так, коэффициент корреляции урожайности со среднегодовой температурой прошлого года превышает 0,5, а со среднегодовыми осадками прошлого года составляет 0,24. И это связано не только со значительной долей озимых культур в структуре зерновых, но и с изменениями почвенного слоя в допосадочный период, его подготовленности к росту растений [10].

На основе результатов корреляционного анализа нами для построения регрессионной модели было выбрано 8 факторов, которые имеют следующие обозначения:

- T₀₄ – средняя температура в апреле;
- T₀₅ – средняя температура в мае;
- T₀₆ – средняя температура в июне;
- T₀₇ – средняя температура в июле;
- T_{ср.} – среднегодовая температура;
- Q₀₅ – среднемесячные осадки в мае;
- Q₀₆ – среднемесячные осадки в июне;

Q_{07} – среднемесячные осадки в июле;

$Q_{ср.}$ – среднегодовые осадки;

N_y – порядковый номер года.

Параметры полученной регрессионной модели приведены в табл. 3. Из приведенных показателей регрессионной модели наиболее значимыми по влиянию на урожайность оказались температуры июня и июля месяцев, а также осадки в летний период (исходя из полученной вероятности нулевой гипотезы). Однако значительно (в несколько раз) более существенное влияние оказывает временной тренд, в котором отражается технологическое и научно-техническое развитие отрасли [11].

Таблица 3

Параметры регрессионной модели

Регрессор	Коэффициент регрессии	Вероятность нулевой гипотезы	Регрессор	Коэффициент регрессии	Вероятность нулевой гипотезы
T_{04}	0,09835	0,33573838	Q_{05}	-0,00590	0,6102634
T_{05}	-0,15362	0,24296520	Q_{06}	0,02431	0,0164818
T_{06}	-0,43010	0,00168528	Q_{07}	-0,00423	0,6656948
T_{07}	-0,33890	0,02333996	$Q_{ср.}$	-0,00281	0,4617165
$T_{ср.}$	-0,06170	0,85831461	N_y	0,16971	9,6589E-17

Коэффициент детерминации, показывающий совокупное влияние выбранных факторов на вариацию урожайности в полученной модели составляет 83 %, при надежности модели по критерию Фишера почти 100 %. Таким образом, можно говорить о применимости модели для решения задач прогнозирования. По коэффициентам регрессии можно определить ожидаемое отклонение урожайности от средних значений. Так, увеличение среднесуточной температуры в июне на одну десятую долю градуса в среднем снижает урожайность на 0,043 центнера с га, а увеличение осадков в июне на один мм в среднем повышает урожайность на 0,02 центнера с га. Конечно, эти отклонения несравнимо меньше технологического роста, который составляет 0,17 центнера с га ежегодно, однако их также необходимо учитывать при оценке перспектив развития растениеводческих отраслей.

Тенденции развития временных рядов по выбранным показателям оценены линейными трендами, приведенными в табл. 4. Из таблицы видно, что все факторы имеют положительный тренд изменения, причем достоверно подтверждается как рост температуры, так и увеличение количества осадков не только по отдельным месяцам, но и в динамике по годам. Наиболее существенно растет среднесуточная температура в июне и июле – на 0,0083 и на 0,0094 градуса в год соответственно. Увеличение количества осадков в среднегодовом выражении составляет 0,28 мм и по месяцам сильно не отличается.

Таблица 4

Модели временных рядов климатических факторов

Фактор	Среднегодовое изменение	Коэффициент автокорреляции	Фактор	Среднегодовое изменение	Коэффициент автокорреляции
T_{04}	0,0018	0,68	Q_{05}	0,02227	0,80
T_{05}	0,0059	0,97	Q_{06}	0,03105	0,87
T_{06}	0,0083	0,98	Q_{07}	0,03423	0,85
T_{07}	0,0094	0,98	$Q_{ср.}$	0,27816	0,98
$T_{ср.}$	0,0013	0,87			

Наложение полученных моделей на ближайшие годы дает ожидаемую величину среднегодовой урожайности на уровне 19 центнеров с га при отсутствии природных катаклизмов и сохранении технологий производства зерновых.

Однако, следует отметить, что эти расчеты выполнены по средним показателям всех сельских товаропроизводителей без учета их особенностей. Передовые хозяйства уже сегодня получают стабильную урожайность выше 30 центнеров с га, и в таких хозяйствах роль климатических факторов из года в год снижается [12].

Для оценки степени воздействия климата на аграрное производство необходимо рассчитать стандартизованные коэффициенты регрессии, которые показывают относительное влияние факторов на исследуемый показатель.

Из табл. 5 видно, что осадки оказывают более существенное влияние на урожайность зерновых. Особенно среди них следует выделить июньские показатели, положительное воздействие которых на урожайность в 18 раз превышает другие факторы. Также достаточно существенное прямое влияние на рост растений оказывает средняя температура апреля, когда в почве и окружающей среде происходят интенсивные процессы, предопределяющие посевные работы. Другие факторы, как показывают многолетние наблюдения, оказывают обратное влияние на урожайность зерновых.

Таблица 5

Стандартизованные коэффициенты регрессии климатических факторов на урожайность зерновых культур в Удмуртии

Фактор	Коэффициент	Фактор	Коэффициент
T ₀₄	0,6033	Q ₀₅	-2,9830
T ₀₅	-0,6669	Q ₀₆	18,4159
T ₀₆	-1,6601	Q ₀₇	-3,4158
T ₀₇	-1,2188	Всего	0,1697

С научной и практической точек зрения для определения потенциала развития отраслей растениеводства очень важно определить закономерности изменения климатических условий. Мы не можем существенно повлиять на эти условия, но можем снизить риск неблагоприятного воздействия климата на производственную деятельность человека, научившись предсказывать природные процессы и явления [13].

Такую грубую оценку можно выполнить на основе анализа временных рядов. Многолетние исследования по отдельным показателям подтверждают, что в изменении климата имеются определенные закономерности. Кроме подтвержденных долговременных тенденций, на увеличение температуры и осадков в них имеются и циклические составляющие, что подтверждается соответствующими коррелограммами (рис. 2).

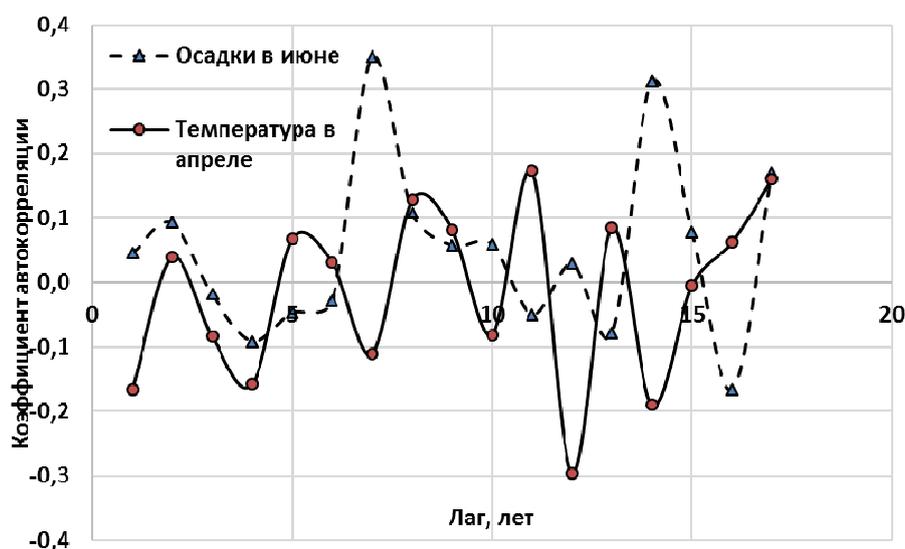


Рис.2. Коррелограмма временных рядов климатических условий в Удмуртии

Из коррелограммы видно, что циклические составляющие по осадкам имеют период повторения примерно через каждые 7 лет, а по температуре намного реже – через 12 лет. Коэффициенты автокорреляции на этих интервалах превышают по абсолютной величине 0,3, что говорит о достаточно высокой значимости представленной закономерности. В то же время отрицательное значение коэффициента автокорреляции по апрельским температурам говорит о противоположных тенденциях, то

есть за высокими среднесуточными температурами апреля с большой вероятностью через 12 лет последуют низкие температуры этого периода года. Выявленная тенденция возможно связана с циклами солнечной активности, отмеченными в работах многих ученых [13-15].

Как ранее отмечалось, на формирование урожайности зерновых наиболее значительное влияние из климатических факторов оказывает количество выпавших осадков в июне. Представленная коррелограмма подтверждает тот факт, что на территории Удмуртии высокие значения урожайности, связанные с благоприятными климатическими условиями, повторяются примерно через каждые 7 лет.

Заключение

Выявлены тенденции развития растениеводства на территории Удмуртии, что находит отражение в неуклонном повышении урожайности сельскохозяйственных культур, прежде всего зерновых и доказано влияние метеорологических показателей на эффективность земледелия. Установлено, что наибольшую роль в формировании урожая имеют климатические условия роста растений в июне месяце. При этом осадки оказывают положительное воздействие ($r = 0,45$), а температурные условия – отрицательное ($r = -0,301$), последнее объясняется прежде всего тем, что высокая температура в июне обычно связана с засухами, способствующими торможению роста, развитию болезней, распространению вредителей растений. Отмечается положительная связь урожайности со среднегодовой температурой прошлого года ($r = 0,51$).

Полученные регрессионные модели для прогнозирования урожайности зерновых культур позволили выявить, что наиболее значимыми по влиянию на урожайность климатическими факторами являются температуры июня и июля месяцев, а также осадки в летний период. На основе анализа временных рядов метеорологических показателей по температурам и осадкам в летний период получены уравнения тренда, которые на многолетнем интервале доказывают закономерности роста среднесуточной температуры и среднемесячных осадков.

Расчет стандартизованных коэффициентов регрессии позволил выделить июньские показатели, положительное воздействие которых на урожайность в 18 раз превышает другие факторы. Также достаточно существенное прямое влияние на рост растений оказывает средняя температура апреля, определяющая интенсивность почвенных процессов и ее готовность к весеннему севу. Одновременно выявлено существование циклических составляющих в изменениях температуры и осадков, а также рассчитана периодичность этих циклов. Циклические составляющие по осадкам имеют период повторения примерно через каждые 7 лет, а по температуре намного реже – через 12 лет. Показаны возможности применения полученных моделей для решения управленческих задач.

Полученные результаты могут быть использованы на региональном уровне управления при разработке планов развития аграрного производства, для оптимизации структуры посевов. Одновременно ими можно пользоваться для оценки эффективности хозяйственной деятельности сельских товаропроизводителей [16].

Однако выводы, полученные в результате исследований, нуждаются в постоянной корректировке, так как с изменением климата, внедрением новых технологий и научных разработок роль отдельных факторов будет меняться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу / под ред. В.М. Катцова, Б.Н. Порфирьева. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2011. 252 с.
2. Фатыхов И.Ш. Программирование урожая сельскохозйственных культур в условиях Западного Предуралья. Ижевск: ИжСХИ, 1991. С. 6-9.
3. Акмаров П.Б., Князева О.П., Рысин И.И. Агроклиматический потенциал эффективности земледелия (на примере зерновых культур Удмуртии) // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2014. Вып. 2. С. 89-96.
4. Влияние изменения климата на сельское хозяйство России: национальные и региональные аспекты (на примере производства зерна). М.: ОКСФАМ, 2013. 327 с.
5. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Казан. ун-т, 2013. 274 с.
6. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Шаймарданов М.З. Влияние опасных гидрометеорологических явлений на устойчивое развитие экономики России // Метеорология и гидрология. 2017. №7. С. 59-67.

7. Шихов А.Н., Быков А.В. База данных об опасных и неблагоприятных явлениях погоды в Пермском крае как региональный аналог ESWD // Географический вестник. 2014. № 4. С. 102-109.
8. Сергеева Е.С., Калинин Н.А. Характеристика условий выпадения очень сильных дождей в Пермском крае с помощью индексов неустойчивости атмосферы // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, вып. 2. С. 207-214.
9. Пасов В.М., Яцало Б.И. Использование комплекса моделей в агрометеорологическом прогнозировании // Метеорология и гидрология. 1992. № 12. С. 87-94
10. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А. Почвенно-агрохимические ресурсы повышения продуктивности земледелия в Приволжском регионе // Плодородие. 2017. № 4. С. 2-6.
11. Давлятшин И.Д., Лукманов А.А. Временной ряд урожайности яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и ее прогнозирование по агрохимическим факторам в лесостепи Среднего Поволжья // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. № 1. С. 29-36.
12. Акмаров П.Б., Князева О.П., Суетина Н.А. Некоторые аспекты влияния климатических факторов на эффективность земледелия // Вестн. НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2014. № 4 (33). С. 178-185.
13. Рысин И.И. О проявлениях глобального потепления климата на территории Удмуртии // Вестн. Удм. ун-та. 2003. Спецвыпуск. С. 51-60.
14. Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан / Ю.П. Переведенцев, Б.Г. Шерстюков, Э.П. Наумов, М.А. Верещагин, К.М. Шанталинский. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2008. 288 с.
15. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change. Cambridge University Press, 2014. 1552 p.
16. Акмаров П.Б., Цыпляков П.А. Организация внутрихозяйственных производственно-экономических отношений в сельскохозяйственных организациях. Ижевск: ИЖГСХА, 2014. 292 с.

Поступила в редакцию 07.12.2020

Рысин Иван Иванович, доктор географических наук, профессор
 ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 1)
 E-mail: rysin@udsu.ru

Акмаров Петр Борисович, кандидат экономических наук, профессор
 E-mail: akmarov@izhgsha.ru

Князева Ольга Петровна, кандидат экономических наук, доцент
 E-mail: izgsha_ur@mail.ru

ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»
 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11

I.I. Rysin, P.B. Akmarov, O.P. Knyazeva

**MODELLING OF INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS
 (ON MATERIALS OF UDMURTIYA)**

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-4-465-472

Dynamics of change of productivity of grain crops of Udmurtiya from 1913 for 2018 in interrelation with changes of environmental conditions in agrarian branch of region is shown. Tendencies of development of plant growing are revealed and influence of meteorological indicators on efficiency of agriculture is proved. Correlation communications of productivity grain with a temperature mode and water supply during the separate periods of growth of plants are considered. Are received regress models of various kinds for forecasting of productivity and the role of each climatic factor in these models is estimated. On this basis the basic natural factors of formation of a grain yield are revealed. On the basis of the analysis of time numbers of meteorological indicators on temperatures and deposits during the summer period the equations of a trend which on a long-term interval prove laws of growth of daily average temperature and monthly average deposits are received. Existence of cyclic components in changes of temperature and deposits is simultaneously revealed, and also periodicity of these cycles is calculated. Possibilities of application of the received models for the decision of administrative problems are shown.

Keywords: productivity of grain crops, environmental conditions, correlation communication, regress model, a time number, the trend equation.

REFERENCES

1. *Otsenka makroekonomicheskikh posledstviy izmeneniy klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i dal'neyshuyu perspektivu* [Assessment of macroeconomic impacts of climate change over the territory of Russian Federation until 2030 and beyond], Kattsov V.M. and Porfiriev B.N. (ed), Moscow: D'ART Publ., Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A.I. Voeykova, 2011, 252 p. (in Russ.).
2. Fatykhov I.Sh. *Programmirovanie urozhaev sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh Zapadnogo Predural'ya* [Agricultural crop programming in the Western Urals], Izhevsk: Izhevsk. Sel'skokhoz. Institute, 1991, pp. 6-9 (in Russ.).
3. Akmarov P.B., Knyazeva O.P., Rysin I.I. [Agroclimatic potential of efficiency of agriculture (illustrated by the example of grain crops of Udmurtiya)], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2014, iss. 2, pp. 89-96 (in Russ.).
4. *Vliyaniya izmeneniya klimata na sel'skoe khozyaystvo Rossii: natsional'nye i regional'nye aspekty (na primere proizvodstva zerna)* [Effects of climate change on Russian agriculture: national and regional aspects (using grain production as an example)], Moscow: OKSFAM Publ., 2013, 327 p. (in Russ.).
5. Perevedentsev Yu.P., Sokolov V.V., Naumov E.P. *Klimat i okruzhayushchaya sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* [Climate and environment of the Volga Federal District], Kazan: Kazan. Univ., 2013, 274 p. (in Russ.).
6. Bedritskiy A.I., Korshunov A.A., Shaymardanov M.Z. [The Impact of Severe Hydrometeorological Events on the Sustainable Development of the Russian Economy], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2017, no. 7, pp. 59-67 (in Russ.).
7. Shikhov A.N., Bykov A.V. [The Database on hazardous and severe weather events in the Perm region as a regional analogue ESWD], in *Geograficheskiy vestnik*, 2014, no. 4 (31), pp. 102-109 (in Russ.).
8. Sergeeva E.S., Kalinin N.A. [Determination of the values of the instability indices criteria for heavy rains in Perm region], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2020, iss. 2, pp. 207-214 (in Russ.).
9. Pasov V.M., Yatsalo B.I. [Use of a set of models in agrometeorological forecasting], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 1992, no. 12, pp. 87-94 (in Russ.).
10. Sychev V.G., Afanasyev R.A. [Soil-agrochemical resources for increasing the productivity of agriculture in the Volga region], in *Plodorodie*, 2017, no. 4, pp. 2-6 (in Russ.).
11. Davlyatshin I.D., Lukmanov A.A. [The long-term spring wheat (*Triticum aestivum* L.) yield dynamics and its forecast on the base of agrochemical factors in the steppe-forest zone of Povolzhje region], in *Problemy agrohimii i jekologii*, 2016, no. 1, pp. 29-37 (in Russ.).
12. Akmarov P.B., Knyazeva O.P., Suetina N.A. [Some aspects of climatic factors effects on land management efficiency], in *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2014, no. 4 (33), pp. 178-185 (in Russ.).
13. Rysin I.I. [On manifestations of global climate warming in Udmurtia], in *Vestn. Udmurt. Univ.*, 2003, S, pp. 51-60 (in Russ.).
14. Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Naumov E.P., Vereshchagin M.A., Shantalinskiy K.M. *Klimaticheskie usloviya i resursy Respubliki Tatarstan* [Climatic conditions and resources of the Republic of Tatarstan], Kazan: Kaz. Univ., 2008, 288 p. (in Russ.).
15. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change.* Cambridge University Press, 2014. 1552 p.
16. Akmarov P.B., Tsyplyakov P.A. *Organizatsiya vnutrikhozyaystvennykh proizvodstvenno-ekonomicheskikh otnoшений v sel'skokhozyaystvennykh organizatsiyakh* [Organization of intra-farm production-economic relations in agricultural organizations], Izhevsk: Izevsk. Gos. Sel'skokhoz. Akad., 2014, 292 p. (in Russ.).

Received 07.12.2020

Rysin I.I., Doctor of Geography, Professor
Udmurt State University
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034
E-mail: rysin@udsu.ru

Akmarov P.B., Candidate of Economics, Professor
E-mail: akmarov@izhgsha.ru
Knyazeva O.P., Candidate of Economics, Associate Professor
E-mail: izgsha_ur@mail.ru

Izhevsk State Agricultural Academy
Studencheskaya st., 11, Izhevsk, Russia, 426069