

УДК 502/504:631.6

**С. В. БРЫЛЬ**

Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Коломна

## АДАПТАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА К ГЛОБАЛЬНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

*Решение проблемы устойчивости сельскохозяйственного производства в условиях импортозамещения на данный момент является одной из важнейших задач, стоящих перед страной. Особое значение для повышения устойчивости сельскохозяйственного производства имеют долгосрочные и краткосрочные прогнозы урожайности, с целью определения наиболее подходящих для выращивания в данный период культур. Основным, независимым от антропогенного воздействия фактором влияющим на урожайность сельскохозяйственных культур является климат. В статье представлены результаты статистической обработки метеорологических данных по метеостанции Коломна за 58 лет. Дана оценка возможности использования метеорологических параметров при краткосрочном и долгосрочном прогнозировании. В качестве интегрального показателя для долгосрочного прогнозирования выбран коэффициент природного увлажнения, который характеризует наиболее объективно тепло-влагообеспеченность природно-климатических зон и вегетационных периодов в различные годы, получено уравнение цикличности процесса изменчивости гидрометеорологических факторов. Так же проведен статистический анализ изменения урожайности моркови в условия Московской области было получено уравнение характеризующее изменение урожайность моркови в зависимости от коэффициента природного увлажнения, поливных норм и доз внесения минеральных удобрений. Получены прогнозные урожайности моркови на 2016–2019 годы. Показано, что наибольшая климатически обеспеченная урожайность моркови, на фоне высоких агротехнологий и рациональных режимов орошения, достигнута в период с 2014 по 2015 годы и в среднем составит 82 т/га, а с 2015–2016 гг. урожайность моркови начнет снижаться. Похожая тенденция прослеживается за период с 1980 по 1993 гг., частота колебаний среднегодовых значений коэффициента природного увлажнения находится в диапазоне 0,82...1,6.*

*Коэффициент природного увлажнения, прогнозирование, циклы изменения климата, урожайность, морковь, метеорологические данные.*

*Solution of the stability problem of agricultural production under the conditions of import substitution at the moment is one of the most important tasks facing the country. Long-term and short-term yield forecasts have a special importance for increasing stability of agriculture with the purpose to determine the most suitable for cultivation crops in this period. The main factor, independent on anthropogenic impacts influencing crop yields is the climate. The article gives the results of statistical processing of meteorological data of the weather stations in Kolomna for 58 years. There is given an assessment of the possibility of using meteorological parameters during short-and long-term forecasting. As an integrated indicator for a long-term forecast a coefficient of natural moistening is chosen that characterizes the most objectively thermal-moisture provision of natural-climatic zones and vegetation periods in different years, there is received an equation of the process cyclicity of variability of hydro meteorological factors. Also, the statistical analysis of the carrot yield changing under the conditions of the Moscow region was obtained which characterizes the change in the carrot yield depending on the ratio of natural moistening, irrigation rates and doses of mineral fertilizers application. There are obtained forecast carrots yield for the 2016–2019 years. It is shown that the greatest climatically provided carrots yield against the background of high agro technologies and rational irrigation regimes was achieved in the period from 2014 to 2015 and in average will be 82 t/ha, and from 2015–2016. The carrots yield will start to decrease. A similar trend is seen for the period from 1980 to 1993, the frequency of variations of mean annual values of the coefficient of natural moistening is in the range of 0,82 to 1,6.*

*Factor of natural moistening, forecasting, cycles of climate change, yield, carrots, meteorologic data.*

Исследования, проводимые учеными различных стран мира с помощью климатических моделей, позволяют строить прогнозы изменений климата на длительный срок (вплоть до конца XXI в.). При этом рассматриваются различные сценарии природных и антропогенных воздействий на геосистему, оцениваются происходящие в ней изменения в качестве предполагаемой реакции на эти воздействия.

По данным Росгидромета в настоящее время климатические условия на территории России существенно меняются, и тенденции этих изменений в ближайшие 5–10 лет сохранятся. Эти выводы подтверждаются результатами исследований других российских ученых, в частности Российской академии наук, и большинства зарубежных специалистов [1, 3].

Наблюдаемые изменения климата на территории Российской Федерации характеризуются значительным ростом температуры холодных сезонов года, ростом испаряемости при сохранении и даже при снижении количества атмосферных осадков за теплый период года, возрастанием повторяемости засух, изменением годового стока рек и его сезонным перераспределением. Перечисленные тенденции, как и многие другие особенности меняющегося климата различных частей территории России, оказывают существенные воздействия на условия жизни граждан и социально-экономическую деятельность [1].

Последствия быстрой изменчивости климатических условий проявляются в росте повторяемости опасных гидрометеорологических явлений (паводки, наводнения, снежные лавины, сели, ураганы, шквалы и др. явления) и в увеличении неблагоприятных резких изменений погоды, которые приводят к значительному социально-экономическому ущербу, непосредственно влияют на эффективность деятельности таких жизненно-важных секторов экономики, как энергетика, сельскохозяйственное производство, водопользование и водопотребление, речное и морское судоходство, жилищно-коммунальное хозяйство.

Предполагаемые изменения климата будут иметь как положительные, так и отрицательные последствия для АПК России. Положительные последствия связаны, главным образом, с пред-

полагаемым потеплением.

Отрицательные последствия связаны с сопровождающим это потепление увеличением частоты периодов засухи, а также с наблюдаемой тенденцией повышения вероятности других экстремальных гидрометеорологических условий, которые могут оказаться пагубными для земледелия.

Одним из важнейших следствий потепления климата в современный период является значительное уменьшение повторяемости зим с опасной для озимых культур минимальной температурой почвы. В Центрально-Черноземном районе и в Поволжье частота таких зим снизилась с 18...22 % до 8...10 %, на Северном Кавказе – с 10 до 4 % (по сравнению с климатическими условиями, наблюдавшимися в этих районах в период до 1990 г.) [2]. Сложилась благоприятная ситуация для расширения посевов озимых культур на Северном Кавказе, в степных районах Поволжья, на Южном Урале и в отдельных районах Западной Сибири.

Изменилась обусловленная климатом урожайность сельскохозяйственных культур, например, расчетная урожайность зерновых культур в Ставропольском крае за последние 20 лет повысилась на 30 %. Улучшение условий произрастания зерновых культур отмечается во многих районах европейской части России на фоне значительного (до 2 °С за последние 10 лет) роста температуры воздуха зимой и при незначительном повышении температуры воздуха в летний период на юге региона [2].

Целью исследования заключалась в изучении тенденции изменения климата в Московской области, на примере метеостанции «Коломна». Проведен анализ внутрисезонного распределения гидрометеорологических параметров, определена цикличность их изменчивости. Установлена зависимость изменения урожайности моркови от изменений климата.

Автором статьи была разработана информационная база данных, необходимая для реализации моделей, представлены результаты статистической обработки метеорологических данных по метеостанции «Коломна» за 58 лет (рис. 1), выявлены закономерности внутригодового и среднесезонного распределения метеорологических показателей.

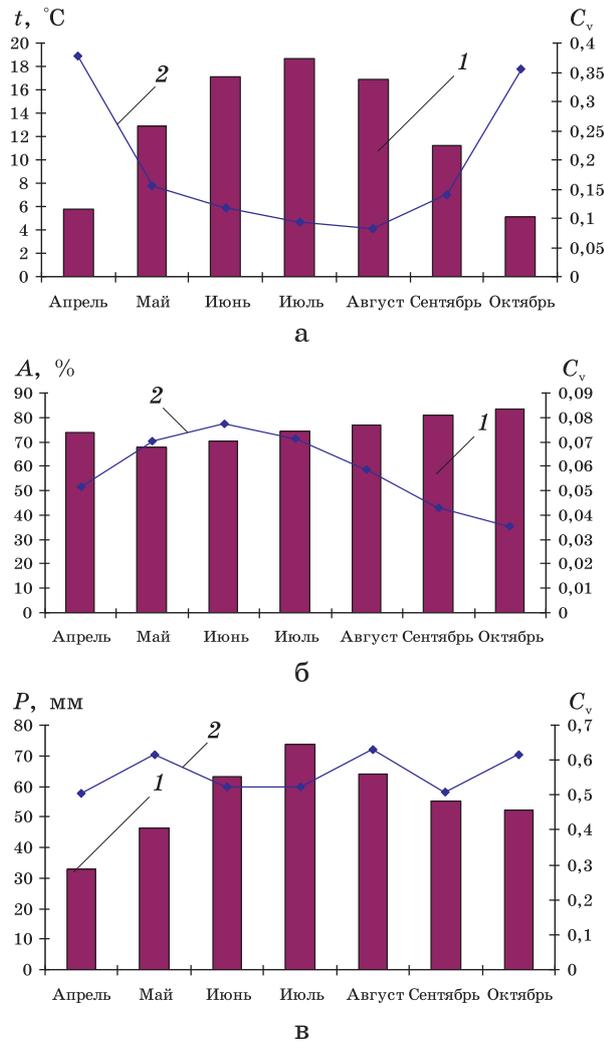


Рис. 1. Результаты анализа моделей динамики метеорологических данных: а – для температуры  $t$ ; б – для относительной влажности воздуха  $A$ ; в – для осадков  $P$ ; 1 – средние значения; 2 – значения коэффициента вариации  $C_v$

По результатам исследований установлены коэффициенты вариации  $C_v$  (среднегодовых значений температуры, осадков и относительной влажности воздуха), которые колеблются в диапазоне 0,03...0,2, что характеризует хорошую сходимость ряда и возможность долгосрочного прогнозирования (таблица 1). Во внутригодовом разрезе температура ( $C_v = 0,08...0,37$ ) и относительная влажность ( $C_v = 0,03...0,07$ ) имеют коэффициенты вариации, допустимые для прогнозирования, и напрямую зависят от среднего значения, а неустойчивое внутригодовое распределение осадков ( $C_v = 0,5...0,6$ ) носит стохастический характер и не может достоверно прогнозироваться [4].

Исследование применения различных моделей прогнозирования метеорологических факторов (моделирование случайных последовательностей способом статистических испытаний, метод построения аппроксимирующей кривой обеспеченности по Фостеру-Рыбкину на основе трехпараметрического гамма-распределения или по кривым распределения Пирсона III типа и их модификациям по Крицкому-Менкелю) показало, что они зачастую не дают адекватного описания эмпирического распределения, так как модельный ряд построен с использованием гладких функций, отличающихся от фактических параметров распределения гидрометеорологических факторов, которые в большинстве случаев носят ярко выраженный нелинейный, циклический характер.

Таблица 1  
Результаты статистической обработки метеорологических данных по метеостанции «Коломна» за 58 лет

Параметры	Месяцы							Среднее значение за год
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	
Температура воздуха $t$ , °C								
Среднее значение	5,8	12,87	17,07	18,72	16,84	11,18	5,1	12,51
Дисперсия	4,81	3,84	4,11	3,05	1,93	2,46	3,27	0,87
Ср. кв. отклонение	2,19	1,96	2,02	1,75	1,39	1,57	1,81	0,93
$C_v$	0,37	0,15	0,11	0,09	0,08	0,14	0,35	0,074
Ошибка ср. арифметич.	0,28	0,26	0,26	0,22	0,18	0,206	0,24	0,122
Точность опыта, %	4,96	2,04	1,56	1,22	1,08	1,84	4,65	0,98
Кол-во наблюдений	58	58	58	58	58	58	58	58
Относительная влажность воздуха $A$ , %								
Среднее значение	73,57	67,75	70,45	74,25	77,07	80,72	83,25	75,29
Дисперсия	14,38	22,62	29,54	28,19	20,46	11,91	8,77	5,89
Ср. кв. отклонение	3,79	4,75	5,435	5,309	4,52	3,45	2,96	2,43
$C_v$	0,051	0,07	0,077	0,071	0,058	0,042	0,03	0,032
Ошибка ср. арифметич.	0,497	0,62	0,71	0,697	0,59	0,45	0,388	0,318
Точность опыта, %	0,677	0,922	1,013	0,939	0,771	0,561	0,467	0,423
Кол-во наблюдений	58	58	58	58	58	58	58	58
Осадки $P$ , мм								
Среднее значение	32,99	46,42	63,04	73,54	63,99	55,36	52,37	387,69
Дисперсия	279,01	811,76	1089,04	1472,58	1617,74	791,539	1041,18	6139,45
Ср. кв. отклонение	16,70	28,49	33,00	38,37	40,22	28,13	32,26	78,35
$C_v$	0,506	0,613	0,523	0,521	0,628	0,508	0,616	0,202
Ошибка ср. арифметич.	2,193	3,74	4,33	5,039	5,28	3,694	4,23	10,288
Точность опыта, %	6,64	8,059	6,87	6,85	8,25	6,67	8,09	2,65
Кол-во наблюдений	58	58	58	58	58	58	58	58

В качестве интегрального показателя изменения климата был выбран коэффициент природного увлажнения  $K_y$ , который характеризует наиболее объективно тепло-влажнообеспеченность природно-климатических зон и вегетационных периодов в различные годы.

$$K_y = \frac{W_a + P}{E},$$

где  $E$  – испаряемость (потенциальная эвапотранспирация) за период с температурой воздуха  $>5^\circ\text{C}$ , мм, мм;  $W_a$  – активные запасы влаги в метровом слое почвы на начало расчетного периода, мм;  $P$  – осадки за период с температурой воздуха  $>5^\circ\text{C}$ , мм.

Использование расчетной методики прогнозирования гидрометеорологических условий и расширение ее функциональных возможностей в области прогнозирования осуществлялось за счет использования «сплайн-функций» для моделирования кривых периодических колебаний гидрометеорологических показателей и прогнозирования тепло-, влагообеспеченности вегетационного периода [3, 5, 6].

В этом случае зависимость, характе-

ризующая изменчивость гидрометеорологических факторов с учетом цикличности колебаний, за многолетний период имеет вид:

$$F(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_{K1} \cos(tw_1) + a_{K2} \cos(tw_2) + a_{K3} \cos(tw_3) + b_{K1} \sin(tw_1) + b_{K2} \sin(tw_2) + b_{K3} \sin(tw_3),$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_{K1}, a_{K2}, a_{K3}, b_{K1}, b_{K2}, b_{K3}$  – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов;  $w_{1,2,3}$  – частота, определяемая при анализе всего диапазона  $T_{1,2,3} \in [1, N]$  с шагом 0,25, где  $N$  – количество расчетных периодов.

Из полученных «сплайн-функций» для периодов  $T_{1,2,3}$  выбираем тот, среднеквадратичное отклонение которого минимально из расчетных значений. Получено выражения для  $K_y$ :

$$K_y = 0,8868 + 0,013t - 0,0001t^2 + 0,094 \sin(t1,79) + 0,102 \cdot \sin(t0,48) + 0,187 \cdot \sin(t0,23) + 0,07 \cdot \cos(t1,79) - 0,003 \cdot \cos(t0,48) + 0,087 \cdot \cos(t0,23),$$

где  $t$  – порядковый номер члена ряда.

Используя полученное уравнение, построен график цикличности процесса изменчивости гидрометеорологических факторов с применением «сплайн-функции» (рис. 2) [4].

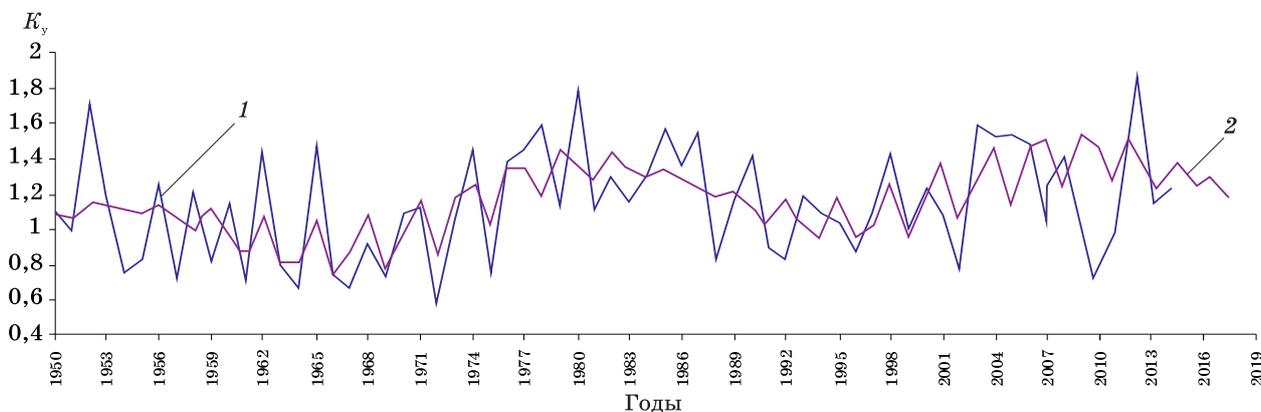


Рис. 2. Цикличность процесса изменчивости коэффициента природного увлажнения с применением «сплайн-функции»: 1 – фактические данные; 2 – тренд

Проведя статистический анализ изменения урожайности моркови в условиях Московской области при одних и тех же условиях агротехники было получено уравнение характеризующее изменение урожайность моркови в зависимости от коэффициента природного увлажнения, поливных норм и доз внесения минеральных удобрений [5]:

$$Y = 2748,8K_y + 233,7M + 272,5NPK + 37,3M^2 - 73,5NPK^2 - 3518,1K_y^2 - 136,8M \cdot NPK + 102,8M \cdot K_y - 176,2K_y \cdot NPK,$$

где  $K_y$  – год обеспеченности по коэффициенту природного увлажнения, %;  $M$  – величина поливных норм;  $NPK$  – доза внесения минеральных удобрений.

Используя выше полученные уравнения «сплайн-функции» и уравнение урожайности, были произведены прогноз-ные расчеты. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Данная методика прогнозирования может быть применима для различных сельскохозяйственных культур.

Фактическая и прогнозная урожайность моркови по годам

Год	K <sub>y</sub>		У, ц/га	
	фактический	прогнозный	фактическая	прогнозная
2006	1,76	1,31	632	–
2007	1,19	1,51	792	–
2008	1,32	1,40	687	–
2009	1,23	1,22	718	631
2010	0,63	1,59	786	692
2011	0,92	1,43	729	840
2012	1,31	1,29	694	665
2013	1,91	1,48	732	789
2014	1,13	1,12	812	841
2015	1,24	1,21	826	793
2016	–	1,41	–	841
2017	–	1,23	–	813
2018	–	1,31	–	828
2019	–	1,14	–	780

**Выводы**

В соответствии с прогнозом с 2015-2016 года, при сохранении существующих тенденций, предполагаемые изменения климата приведут к существенным изменениям в агроклиматических условиях возделывания сельскохозяйственных культур. Повсеместно начнет понижаться теплообеспеченность. Снизится продолжительность вегетационного и безморозного периодов года на 10-20 дней, что приведет к ухудшению условий проведения сельскохозяйственных работ и к увеличению потерь продукции при уборке урожая.

Выполненные на основе модели и информационной базы данных прогнозные расчеты урожайности моркови до 2019 года, показали, что наибольшая климатически обеспеченная урожайность моркови, на фоне высоких агротехнологий и рациональных режимов орошения, достигнута в период с 2014 по 2015 годы и в среднем составит 82 т/га, а с 2015–2016 гг. урожайность моркови начнет снижаться. Похожая тенденция прослеживается за период с 1980 по 1993 гг., частота колебаний среднегодовых значений коэффициента природного увлажнения находится в диапазоне 0,82...1,6.

Данную методику целесообразно использовать при проектировании экономически и экологически целесообразных севооборотов и при оценке возможных рисков при выращивании сельскохозяйственных культур.

1. Стратегический прогноз изменения климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияние на отрасли экономики России. – М.: Росгидромет, 2005. – 30 с.

2. Ольгаренко Г. В. Нормирование, информационное обеспечение и реализация водосберегающих процессов орошения: диссертация ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02. – Новочеркасск, 1998. – 408 с.

3. Ольгаренко Г. В., Капустина Т. А., Аванесян И. М., Булгаков В. И. Оросительные нормы (нетто) и их внутрисезонное распределение для основных сельскохозяйственных культур по федеральным округам российской федерации: монография. – Коломна: ООО «Инлайт», 2007. – 95 с.

4. Брыль С. В. Информационная технология планирования поливов сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. – М, 2009. – 26 с.

5. Ольгаренко Г. В. Оценка современного почвенно-климатического потенциала агроэкосистем и его трансформации под влиянием природных и технологических факторов с целью регулирования и оптимизации водного и пищевого режима почв на орошаемых землях Уральского ФО; под общ. ред. Г. В. Ольгаренко. – Коломна: ВНИИ «Радуга», 2008. – 87 с.

6. Капустина Т. А., Аванесян И. М., Спирина Е. Ю. Исследование и оценка циклических изменений климатических показателей по природным зонам агроландшафтов Нечерноземья и ЦЧО: сб. науч. трудов ФГОУ ВПО МГУП. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2005. – Ч. 2. – С. 217–223.

Материал поступил в редакцию 09.10.2015.  
**Брыль Сергей Валерьевич**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительного производства  
 E-mail: animag100@mail.ru