

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ВСХОЖЕСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕВОЛЖСКОГО РЕГИОНА

Е. В. Самохвалова, Н. В. Санина

*Самарская государственная сельскохозяйственная академия, Россия
Поволжский научно-исследовательский институт селекции
и семеноводства им. П.Н. Константинова, Россия*

Поступила в редакцию 10 сентября 2013 г.

Аннотация: Представлены результаты аппроксимации зависимости полевой всхожести озимой и яровой пшеницы от запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см за 1983-2012 гг. (коэффициент детерминации 0,66; обеспеченность 79 %; точность 93 %). Методика реализована для территории Самарской и части соседних областей в 400 случаях задания влагозапасов почвы, генерируемых с помощью метода случайных испытаний на основе статистических параметров климатического ряда¹.

Ключевые слова: всхожесть, продуктивная почвенная влага, стохастическое моделирование.

Abstract: The results of approximation of dependence between the field germination of winter and spring wheat and the stocks of productive moisture in the soil layer 0-20 cm in 1983-2012 (coefficient of determination of 0,66; ensuring 79 %, accuracy 93 %). The method is realized for the Samara region and the neighboring regions in 400 cases of job of water supplies of soil, generated by the method of random tests on the basis of the statistical parameters of climatic series.

Key words: germination, productive soil moisture, stochastic modeling.

В последние десятилетия главным направлением повышения эффективности агропроизводства является переход к адаптивной системе ведения сельского хозяйства, обеспечивающей наиболее полное и рациональное использование земельных ресурсов и биоклиматического потенциала (БКП) территории. При этом требуется не только повышение степени использования БКП путем организационно-хозяйственного управления сельскохозяйственным производством (выбором специализации, совершенствованием технологий возделывания культур, проведением мелиоративных работ и другие), но главным образом стратегическое управление земельными ресурсами на основе географического анализа БКП [5, 9].

В случае мезо- и микромасштабного исследования БКП вместе с более детальным рассмотре-

нием пространственной изменчивости свойств территории возникает необходимость более подробного учета взаимодействия растений с внешней средой и временной неоднородности воздействующих факторов [2]. Сегодня при возрастающей нестабильности метеорологических процессов это особенно актуально, поскольку способствует лучшей адаптации агропроизводства к имеющимся условиям, стабилизации развития территорий [5, 6, 10, 13].

В соответствии с определением [15] оценка биоклиматического потенциала напрямую связана с количественной характеристикой и анализом формирования биологической продуктивности сельскохозяйственных культур. С этой целью могут быть использованы данные фактической урожайности в показательных хозяйствах, различные эмпирико-статистические формулы, регрессионные уравнения, физико-статистические зависимости от тех или иных природных факторов, имитационные модели продукционного процесса растений [3, 8]. При этом точность оценки в значитель-

© Самохвалова Е. В., Санина Н. В., 2014

¹ *Прим. гл. редактора.* Авторам было бы полезным использовать при своих исследованиях фундаментальную работу Н. А. Шумовой «Закономерности формирования водопотребления и водообеспеченности агроценозов в условиях юга Русской равнины. – М.: Наука, 2010. – 239 с.»

Повторяемость полевой всхожести яровой и озимой пшеницы по градациям (1983-2012 гг.)

Диапазон всхожести, %	Повторяемость всхожести, %			
	яровая пшеница		озимая пшеница	
	фактические данные*	оценочные значения**	фактические данные*	оценочные значения**
30-40	0	0	0	0
40-50	3	0	0	0
50-60	7	10	12	12
60-70	12	12	27	27
70-80	12	12	27	30
80-90	33	24	24	18
90-100	33	42	9	12
Сумма	100	100	100	100
Критерий Хи-квадрат	6,03 (уровень значимости 0,184)		1,44 (уровень значимости 0,549)	

* Данные полевых наблюдений ГНУ Поволжский НИИСС.

** Расчет по данным запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см.

ной степени зависит от полноты и качества исходных данных.

Нами использована динамическая модель [14], достаточно подробно описывающая процессы водного блока почвы, что применительно к засушливым условиям Среднего Поволжья является необходимым. Расчет организуется от даты появления массовых всходов растений до наступления фазы полной спелости. Одним из «входных» параметров является густота стояния растений в период всходов. В рассматриваемом регионе эта характеристика имеет значительную пространственно-временную изменчивость в зависимости от запасов продуктивной влаги в почве и существенно влияет на продуктивность культур.

Целью исследования является информационное обеспечение моделирования продуктивности зерновых культур с учетом оценки полевой всхожести семян в зависимости от условий увлажнения почвы в период посева и прорастания. Для этого решались следующие задачи: аппроксимация всхожести озимой и яровой пшеницы в зависимости от запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы, применение метода стохастического моделирования для восстановления ее временного ряда и анализ пространственного распределения.

Как известно, полевая всхожесть определяется качеством посевного материала, условиями теп-

ло- и влагообеспеченности растений в период прорастания семян [12]. Приурочивая начало расчета продукционного процесса растений к оптимальным агрономическим срокам посева культур, мы заведомо «помещаем» наш посев в условия благоприятного температурного режима. Влияние же колебаний температур и возможного возврата холодов весной отслеживается в последствии путем введения температурных коэффициентов, регулирующих в модели интенсивность фотосинтеза и дыхания растений.

Для определения зависимости всхожести от условий влагообеспеченности в период посева в статье использованы данные полевых наблюдений ГНУ Поволжский НИИСС [11] и агрометеостанции Усть-Кинельская [1] о влажности почвы на зерновом севообороте ГНУ Поволжский НИИСС за 1983-2012 годы.

Нами произведен анализ полевой всхожести озимой пшеницы сорта Поволжская 86 и яровой пшеницы Кинельская 59, районированных в Средневолжском регионе. В результате подобрана аппроксимирующая функция зависимости всхожести растений (U_w) от запасов продуктивной влаги в слое почвы 20 см в период посева и прорастания семян (W_{0-20}):

$$U_w = 17,45W_{0-20}^{0,4579}.$$

Таблица 2

Среднеквадратические отклонения временных рядов запасов продуктивной влаги по слоям почвы в период посева и прорастания семян (зерновой севооборот ГНУ Поволжский НИИСС, 1983-2012 гг.)

Период	Слой почвы		
	0-20 см	20-50 см	50-100 см
Конец апреля – начало мая	12,7	13,8	14,8
Конец августа – начало сентября	10,5	19,6	27,1

Таблица 3

Коэффициенты корреляции запасов продуктивной влаги по слоям почвы (зерновой севооборот Поволжского НИИСС, 1983-2012 гг.)

Показатель	Конец апреля			Конец августа		
	W_{0-20}	W_{20-50}	W_{50-100}	W_{0-20}	W_{20-50}	W_{50-100}
W_{0-20}	1			1		
W_{20-50}	0,66	1		0,19	1	
W_{50-100}	0,29	0,71	1	0,05	0,81	1

Коэффициент детерминации временных рядов составил 0,66. Обеспеченность метода (повторяемость попадания рассчитываемых значений в доверительный интервал $0,67s$, где s – среднеквадратическое отклонение ряда фактических значений) составила 79%; относительная ошибка расчета для оправдавшихся случаев – 7%. При этом распределение всхожести яровой и озимой пшеницы по грациям достаточно точно (с учетом погрешностей полевых наблюдений) соответствует фактическим значениям – уровень значимости критерия Хи-квадрат 0,184 и 0,549 соответственно (таблица 1).

Чтобы сформировать статистический ряд урожайности необходимо моделирование продукционного процесса растений во множестве вариантов условий влагообеспеченности в период посева и прорастания семян, характерных для данной территории. На основе фактических данных такой расчет за многолетний период возможен лишь для тех точек территории, где организованы наблюдения за влажностью почвы. Учитывая сравнительно редкую сеть агрометеостанций и других пунктов полевых наблюдений, а также значительную неоднородность почвенного покрова анализ пространственной изменчивости показателя только на основе данных фактических наблюдений затруднителен. Для расчета урожайности в любой точке территории, например в узлах регулярной пространственной сетки, необходимо предварительное моделирование влагозапасов на основе статистических характеристик соответствующих климатических рядов, задаваемых по ближайшей метеостанции или путем интерполяции данных нескольких ближайших метеостанций [4].

С целью воссоздания временного ряда вектора запасов продуктивной влаги по слоям почвы в период прорастания семян и всходов $F_w = (W_{0-20}, W_{20-50}, W_{50-100})$ нами применено его стохастическое моделирование на основе средних значений, дисперсий, коэффициентов взаимной корреляции его составляющих. При этом компоненты вектора F_w определяются в результате конечно-разностного решения системы уравнений Ланжевена в 400 вариантах, реализуемых с помощью метода случайных испытаний (Монте-Карло) [7, 16].

С учетом рекомендованных сроков посева расчет влагозапасов почвы для определения всхожести озимой пшеницы произведен в конце августа, яровой пшеницы – в конце апреля. Среднегодовые значения вектора F_w взяты по данным агрометеорологических справочников, другие статистические показатели определены по данным полевых наблюдений агрометеорологической станции Усть-Кинельская и лаборатории агрохимии ГНУ Поволжский НИИСС (таблицы 2 и 3).

В результате восстановления вектора запасов продуктивной влаги по слоям почвы в 400 случаях получены их временные ряды на конец апреля и августа. Оценка точности их расчета выполнена на основе Хи-квадрат теста: уровень значимости критерия (0,936 и 0,585) свидетельствует об однородности моделируемых и фактических рядов (рис. 1).

На основе моделируемых влагозапасов почвы также получены временные ряды полевой всхожести

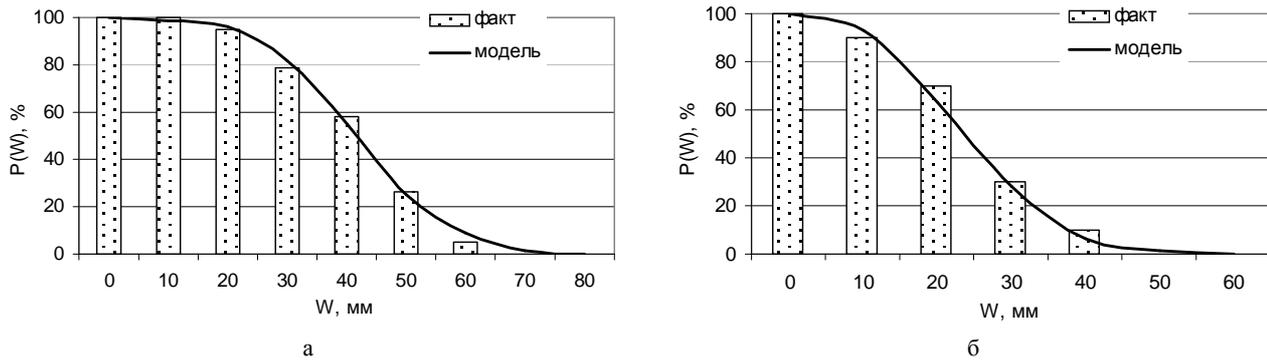


Рис. 1. Обеспеченность запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см на конец месяца по грациям (а) апрель, б) август; «факт» – данные полевых наблюдений, «модель» – результат стохастического моделирования временного ряда)

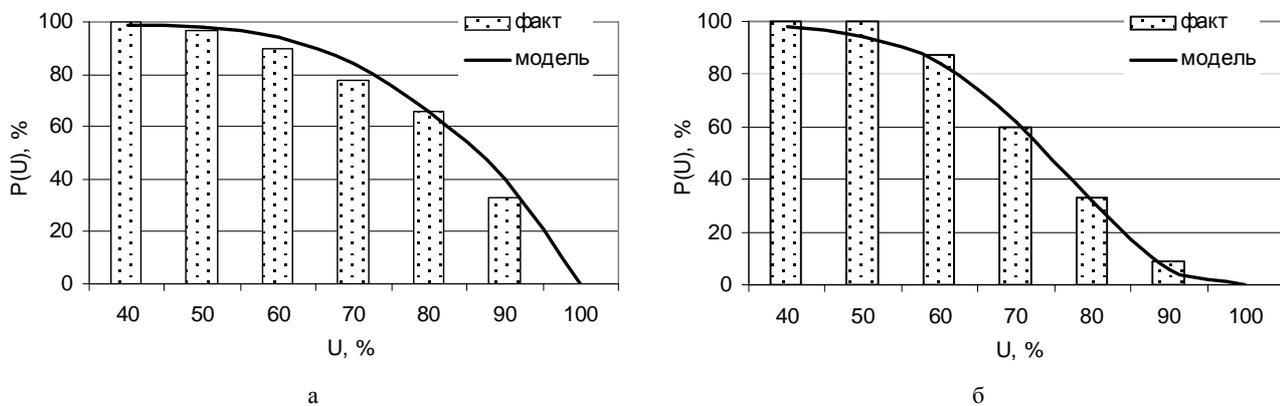


Рис. 2. Обеспеченность полевой всхожести зерновых культур по грациям (а) яровая пшеница, б) озимая пшеница; «факт» – данные полевых наблюдений 1998-2012 гг., «модель» – результат расчета на основе стохастического моделирования временного ряда влагозапасов почвы)

сти яровых и озимых культур. Уровень значимости критерия хи-квадрат, рассчитанный для функции их распределения (рис. 2), составил 0,407 и 0,101. Достигнутая точность моделирования обосновывает использование приведенной расчетной схемы для характеристики полевой всхожести растений в условиях отсутствия фактических наблюдений.

Для исследования пространственного распределения всхожести зерновых культур расчет по описанной выше схеме произведен для территории Самарской и частично соседних областей (109 тыс. кв. км) в узлах условной пространственной сетки с шагом 10 км. Получены пространственные распределения запасов продуктивной почвенной влаги на конец апреля и конец августа (рис. 3), коэффициенты корреляции их с соответствующими фактическими распределениями показателей по территории (по данным агроклиматических справочников) составили 0,96-0,99.

Всхожесть озимой пшеницы закономерно оказалась несколько ниже, чем яровой, и диапазон ее изменения по территории шире. Это обусловлено особенностями распределения запасов почвенной влаги: к концу августа их дифференциация по территории усиливается и в широтном аспекте и под влиянием местных условий (рельефа и др.). Для обеих культур закономерно уменьшение всхожести в западной и особенно юго-западной части рассматриваемой территории. Это обусловлено сравнительно низкой ее влагообеспеченностью в связи с неравномерным и местами недостаточным увлажнением в течение года, наличием почв со слабой водоудерживающей способностью, а в южной части и значительной испаряемостью влаги в теплый период (сумма активных температур 2700-2800 °С, сумма дефицитов влажности воздуха 1800-2000 гПа).

Таким образом, полученные результаты подтверждают адекватность рассмотренной схемы

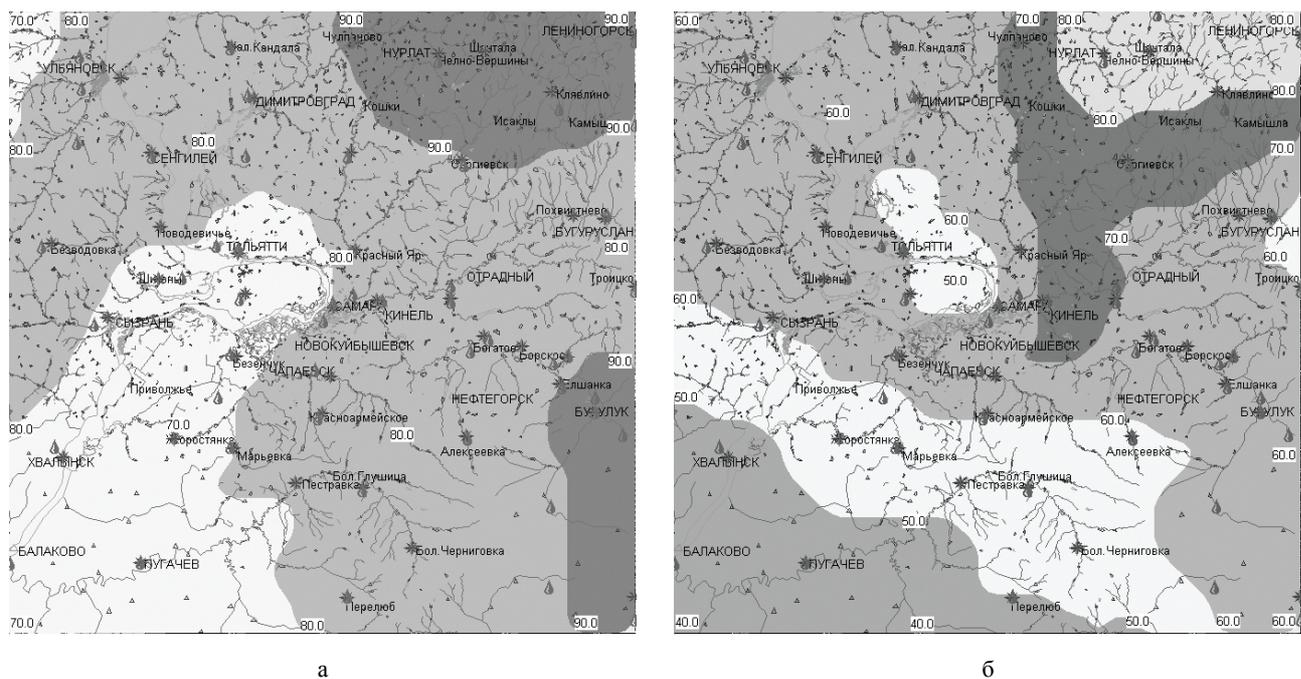


Рис. 3. Полевая всхожесть семян зерновых культур: результат моделирования, % (а) яровая пшеница; б) озимая пшеница; * – положение метеостанций

моделирования влагозапасов почвы в период прорастания семян озимых и ранних яровых культур в условиях Среднего Поволжья и обосновывают ее применение для математического описания полевой всхожести – одного из «входных» параметров в моделях продукционного процесса растений. Воссозданное множество реализаций вектора влагозапасов почвы открывает возможность моделирования не только климатически обеспеченной урожайности сельскохозяйственных культур, но и ее пространственно-временной изменчивости в зависимости от всхожести.

Все это создает предпосылки для более полного и объективного географического анализа биоклиматического потенциала территории и оценки степени риска возделывания зерновых культур в целях обеспечения высокого уровня урожая и стабильности агропроизводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрометеорологическое обеспечение научных исследований и изучение влияния погодных условий на формирование урожая сельскохозяйственных культур : отчет о НИР; рук. В. А. Самохвалов. – Кинель : Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 1983-2012.
2. Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / А. В. Гордеев [и др.]. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 512 с.

3. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев [и др.]. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 512 с.

4. Жуков В. А. Стохастическое моделирование и прогноз агроклиматических ресурсов при адаптации сельского хозяйства к региональным изменениям климата на территории России / В. А. Жуков, О. А. Святкина // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 1. – С. 100-109.

5. Жученко А. А. Ресурсный потенциал производства зерна в России (теория и практика) / А. А. Жученко. – Москва : Агрорус, 2004. – 1110 с.

6. Иванов А. Л. Устойчивость функционирования агросферы в условиях глобального изменения климата / А. Л. Иванов // Труды Всероссийский НИИ сельскохозяйственной метеорологии. – 2007. – Вып. 36. – С. 26-44.

7. Кузнецов П. Ф. Стохастические дифференциальные уравнения: теория и практика численного решения / П. Ф. Кузнецов. – Санкт-Петербург : Издательство политехнического университета, 2010. – 816 с.

8. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов / В. А. Жуков [и др.]. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. – 207 с.

9. Носонов А. М. Территориальные системы сельского хозяйства / А. М. Носонов. – Москва : Янус-К, 2001. – 324 с.

10. О проблеме адекватного агроклиматического обеспечения экономики Российской Федерации в условиях изменений климата / Е. К. Зоидзе [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 8. – С. 73-86.

11. Отчет об итогах научной и производственной деятельности ГНУ Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова Россельхозакадемии. – Кинель, 1983-2012.

12. Руководство по агрометеорологическим прогнозам / под ред. Е. С. Улановой, В. А. Моисейчик, А. Н. Полевого. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1984. – Т. 1. – 308 с.

13. Русакова Т. И. Исследование климатообусловленных колебаний урожайности основных зерновых культур, их количественная оценка в новых социально-экономических условиях РФ / Т. И. Русакова, В. М. Ле-

бедева, И. Г. Грингоф // Метеорология и климатология. – 2010. – № 12. – С. 88-97.

14. Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем / О. Д. Сиротенко. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1981. – 167 с.

15. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии / под ред. И. Г. Грингофа [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2002. – 471 с.

16. Яглом А. М. Корреляционная теория стационарных случайных функций / А. М. Яглом. – Ленинград Цветковые растения : Гидрометеоздат, 1981. – 264 с.

Самохвалова Елена Владимировна

кандидат географических наук, доцент кафедры лесоводства, экологии и безопасности жизнедеятельности агрономического факультета Самарской государственной сельскохозяйственной академии, Самарская обл., п. Усть-Кинельский, т. 8 (846) 63 46 118, E-mail: kinel_evs@mail.ru

Санина Наталья Владимировна

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией агрохимии и инновационных технологий Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова, Самарская обл., п. Усть-Кинельский, т. 8 (846) 63 46 243, E-mail: gnu_pniiss@mail.ru

Samokhvalova Yelena Vladimirovna

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the chair of forestry, ecology and life safety, Agronomy Department, Samara State Academy of Agriculture, Samara region, Ust'-Kinel'skiy, tel. 8 (846) 63 46 118, E-mail: kinel_evs@mail.ru

Sanina Natal'ya Vladimirovna

Candidate of Agricultural Sciences, Head of the laboratory of agricultural chemistry and innovative technologies, Volga Research Institute of Breeding and Seed named after P.N. Konstantinov, Samara region, Ust'-Kinel'skiy, tel. 8 (846) 63 46 243, E-mail: gnu_pniiss@mail.ru