



УДК 633.11(571.51)

**Ю.Ф. ЕДИМЕИЧЕВ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
А.А. ШПЕДТ*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**

Красноярский государственный аграрный университет

660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90

e-mail: EUF-1948@yandex.ru

**Сибирский федеральный университет*

660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

e-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В АГРОЛАНДШАФТАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

В земледельческой части Красноярского края проведены многолетние исследования по моделированию продуктивности яровой пшеницы в разных природных подзонах с учетом предшественников, влагообеспеченности и ГТК. Моделирование продуктивности яровой пшеницы проводили по данным, полученным в 1972–1996 гг. в агроландшафтах открытой, закрытой и типичной лесостепи разной степени облесенности, а также подтайги. Яровую пшеницу возделывали по чистому пару, пшенице, кукурузе, пласту и обороту пласта многолетних трав. Получены модели продуктивности яровой пшеницы, отражающие почвенно-климатические особенности подзон, и поправочные коэффициенты к ним, корректирующие урожайность культуры в условиях выраженного (4–6°) мезорельефа. Средняя многолетняя продуктивность культуры изменяется в зависимости от подзоны и предшественников в 19 раз и более. Лучшим предшественником для культуры был чистый пар. Наиболее благоприятные условия для возделывания яровой пшеницы складываются в условиях закрытой лесостепи и подтаежной подзоне, на плато, южных и восточных склонах. Получение здесь стабильных по годам урожаев наиболее вероятно. В открытой и типичной лесостепи продуктивность культуры снижалась. Здесь же резко возрастает коэффициент варьирования продуктивности, что свидетельствует о снижении вероятности получения стабильных урожаев и устойчивости культуры к неблагоприятным условиям. В агроландшафтах подтайги продуктивность яровой пшеницы по сравнению с агроландшафтами закрытой лесостепи также была существенно ниже, но коэффициенты варьирования продуктивности культуры менялись мало. В условиях подтайги культура обеспечивала достаточно стабильные урожаи благодаря лучшей влагообеспеченности. Выявленные закономерности служат теоретической основой при оценке региональных агроэкологических условий и разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Ключевые слова: агроландшафт, яровая пшеница, урожайность, математические модели урожайности, мезорельеф.

Современное развитие земледелия основывается на детальном знании особенностей ландшафтов, свойств почв, почвенного покрова, климатических и микроклиматических условий и экологически и экономически рациональном размещении основных сельскохозяйственных культур. На данном уровне информационного обеспечения сформирован прогрессивный и рациональный подход в использовании земли – адаптивно-ландшафтная система земледелия. Аналогичное подтверждение дают ученые Сибирского научно-исследовательского института земледелия и

химизации сельского хозяйства. Согласно исследованиям, за счет внедрения прогрессивных агротехнологий при использовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия возможно увеличение продуктивности пашни в 1,5–2,0 раза [1].

Особенность ведения земледелия в Красноярском крае – его котловинный характер, а также наличие склоновых земель разной крутизны, длины и экспозиции. В регионе из 3,1 млн га пашни три четверти размещено на склонах более 1°, в том числе до 3° – 47,0 %; 3–5° – 14,5; 5–7° и более – 9,9 %. Рельеф оказывает многостороннее влияние на микроклимат, процессы, протекающие в почвенной толще, свойства почвы и особенности ее генезиса. Возможности ведения земледелия, его специализация и эффективность в значительной мере обусловлены рельефом. Определяя развитие почв и их плодородие, рельеф местности оказывает существенное влияние на ценность почв и земель [2].

Цель работы – установить влияние лесостепных, подтаежных ландшафтов и мезорельефа на продуктивность яровой пшеницы в условиях Красноярского края.

В задачи исследования входило моделирование урожайности яровой пшеницы в ландшафтах открытой, закрытой, типичной лесостепи и подтайги на основе запасов продуктивной влаги в почве и ГТК, с учетом поправочных коэффициентов, отражающих изменения урожайности зерновых культур относительно мезорельефа.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Моделирование продуктивности яровой пшеницы проводили по данным, полученным в 1972–1996 гг.: в агроландшафтах открытой лесостепи – ОПХ «Минино» (облесенность 0,04 %), закрытой лесостепи – Солянской СХОС (10–11 %), типичной лесостепи – учхоза «Миндерлинское» (5–8 %), и подтайги – Казачинской СХОС (28 %). Яровую пшеницу возделывали по чистому пару, пшенице, кукурузе, пласту и обороту пласта многолетних трав. Почвы представлены в открытой и типичной лесостепи черноземами обыкновенным и выщелоченным, в закрытой лесостепи – черноземом выщелоченным, в подтайге – дерново-подзолистыми почвами. Модели урожайности культуры получены посредством математического анализа количественных связей, отражающих зависимости между продуктивностью растений и весенними влагозапасами в метровом слое почвы, а также ГТК. Применяли корреляционно-регрессионный анализ с использованием наименьших квадратов. В опытах использовали районированные сорта яровой пшеницы и применяли наиболее типичные для каждой подзоны севообороты и агротехнику [3]. Изучение изменения продуктивности яровой пшеницы на различных элементах мезорельефа проводили в серии полевых опытов. Методика их закладки и проведения, а также полученные результаты подробно изложены в научной статье [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применительно к земледельческой территории Красноярского края ранее были созданы модели продуктивности сельскохозяйственных культур в

зависимости от метеорологических характеристик. Так, Г.И. Зубаиловой разработаны модели продуктивности нескольких сортов пшеницы в различных зонах региона [5]. Это позволило провести сравнительную характеристику используемых сортов, дать оценку агроклиматическим ресурсам природных зон, сделать заключение об эффективности отдельных агротехнических приемов возделываемых культур. П.И. Крупкин с соавт. [6] при совершенствовании методов бонитировки почв также получили модели урожайности зерновых культур, включающих гидротермический коэффициент. Проведенные исследования доказывают преимущественное влияние условий влаго- и теплообеспеченности на продуктивность растений.

На основании проведенных исследований выяснено, как почвенно-климатические ресурсы сельскохозяйственной территории Красноярского края меняются вследствие зонального расположения, своеобразия рельефа, степени облесенности. Средняя многолетняя продуктивность яровой пшеницы существенно (более чем в 19 раз) изменялась в зависимости от подзоны и предшественников (см. таблицу). Лучшим предшественником для культуры был чистый пар. Наиболее высокая продуктивность яровой пшеницы зафиксирована в агроландшафтах закрытой лесостепи. В открытой и типичной лесостепи продуктивность культуры снижалась. Здесь же

Среднемноголетняя продуктивность яровой пшеницы в зависимости от подзоны и предшественников

Подзона, хозяйство	Показатель	Предшественник				
		Чистый пар	Кукуруза	Пшеница	Пласт многолетних трав	Оборот пласта многолетних трав
Открытая лесостепь (ОПХ «Минино»)	$\bar{X}$	2,14	1,91	1,79	–	–
	min	0,80	0,40	0,50	–	–
	max	3,30	3,60	3,00	–	–
	V, %	38,0	52,0	31,0	–	–
Закрытая лесостепь (Солянская СХОС)	$\bar{X}$	2,83	2,58	–	–	2,58
	min	2,10	1,70	–	–	1,75
	max	3,50	3,67	–	–	3,69
	V, %	21,0	32,0	–	–	31,0
Типичная лесостепь (учхоз «Миндерлинское»)	$\bar{X}$	1,94	1,20	–	1,13	0,84
	min	0,86	0,30	–	0,30	0,19
	max	2,95	2,38	–	2,66	2,31
	V, %	48,0	57,0	–	80,0	94,0
Подтайга (Казачинская СХОС)	$\bar{X}$	2,29	1,40	–	1,69	2,45
	min	1,44	0,80	–	1,15	1,80
	max	2,95	1,98	–	2,36	3,50
	V, %	26,0	34,0	–	24,0	21,0

Примечание. $\bar{X}$, min, max, – среднее, минимальное, максимальное значения продуктивности, т/га; V – коэффициент варьирования, %.

резко возрастает коэффициент варьирования продуктивности, что свидетельствует о снижении вероятности получения стабильных урожаев и устойчивости культуры к неблагоприятным условиям. В агроландшафтах подтайги продуктивность яровой пшеницы по сравнению с агроландшафтами закрытой лесостепи также была существенно ниже, но коэффициенты варьирования продуктивности культуры менялись мало. В условиях подтайги культура обеспечивала достаточно стабильные урожаи благодаря лучшей влагообеспеченности.

В ряде научных работ [7, 8] на основании экономических расчетов доказывается невыгодность возделывания яровой пшеницы в подтаежной зоне. Предложено прекратить возделывать здесь яровую пшеницу и заменить ее кормовыми культурами. По нашему мнению, это неверная рекомендация. В условиях подтайги культура дает не самые высокие, но стабильные урожаи, а при внесении рекомендованных доз минеральных удобрений, использовании средств защиты растений ее производство будет рентабельным.

В большинстве случаев корреляционно-регрессионный анализ показывает прямолинейную форму связи, когда одинаковое изменение одного показателя дает пропорциональное приращение зависимой переменной. Полученные модели имеют следующий вид.

Открытая лесостепь, ОПХ «Минино»:

$$Y_1 = -0,0028 X_1^2 + 0,9497 X_1 - 48,8506; \quad (1)$$

$$Y_2 = -0,0014 X_1^2 + 0,5641 X_1 - 23,7092; \quad (2)$$

закрытая лесостепь, Солянская СХОС:

$$Y_1 = -0,0029 X_1^2 + 0,9515 X_1 - 47,4798; \quad (3)$$

$$Y_2 = 0,0018 X_1^2 - 0,2821 X_1 + 28,5498; \quad (4)$$

$$Y_4 = 0,0044 X_1^2 - 0,6016 X_1 + 36,3091; \quad (5);$$

$$Y_1 = 0,0186 X_1^2 - 4,0648 X_1 - 133,2519 X_2^2 + 279,2351 X_2 + 105,7170; \quad (6)$$

$$Y_2 = 0,0044 X_1^2 - 0,8517 X_1 - 27,1268 X_2^2 + 61,8778 X_2 + 23,4126; \quad (7).$$

подтаежный ландшафт, Казачинская СХОС:

$$Y_1 = 0,0016 X_1^2 - 0,8766 X_1 - 138,6910; \quad (8)$$

$$Y_2 = -0,0043 X_1^2 + 1,7376 X_1 - 155,5764; \quad (9)$$

$$Y_3 = 0,0002 X_1^2 - 0,1363 X_1 + 37,0105; \quad (10)$$

$$Y_4 = -0,0002 X_1^2 + 0,1160 X_1 + 8,9300, \quad (11)$$

где Y_1 – урожайность яровой пшеницы по чистому пару, ц/га, Y_2 – то же, по кукурузе; Y_3 – то же, по пласту многолетних трав; Y_4 – то же, по обороту пласта; X_1 – весенние запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы, мм; X_2 – ГТК за лето.

Расчетные значения урожайности согласно моделям по предшественникам оказываются близкими к фактическим данным по каждой зоне. Ошибка аппроксимации уравнений с весенними влагозапасами изменяется от 6,9 до 15,0 %. При использовании ГТК ошибка модели по кукурузному предшественнику снижается до 2,3 % (7), по чистому пару – до 7,6 % (6). Не удалось рассчитать математически достоверные уравнения на основе данных, собранных в учхозе «Миндерлинское», поэтому они в работе не приводятся.

В лесостепной и подтаежной зонах региона при очень низких весенних запасах почвенной влаги (до 80 мм) урожайность пшеницы по чистому пару согласно представленным моделям составляла не более 0,9–1,2 т/га, что соответствует фактическим значениям, получаемым в производственных посевах. При уровне увлажнения от 100 до 150 мм урожайность повышалась до 2,5–3,0 т/га во всех подзонах, при наличии влаги 180 мм и более она снижалась.

В открытой лесостепи среднее значение почвенной влаги за анализируемые годы составило 113 мм, что обеспечивало формирование урожайности яровой пшеницы на уровне 2,2 т/га. В закрытой лесостепи уровень увлажнения весной был выше. Запасы влаги в метровом слое после чистого пара варьировали по годам в пределах 105–180 мм. Расчетная урожайность при этом изменялась от 2,0 до 3,1 т/га. В подтайге весенние влагозапасы позволяют доводить сборы зерна до 2,0–3,5 т/га.

Кукуруза как предшественник изменяла увлажнение почвы под пшеницу. В открытой лесостепи после возделывания данной культуры весной часто отмечались неудовлетворительные запасы продуктивной влаги в почве (до 100 мм), которые обеспечивали урожайность лишь до 1,9 т/га. Здесь реакция пшеницы на изменение условий увлажнения проявлялась сильнее. По расчетным данным, в открытой лесостепи увеличение весенних запасов доступной для растений почвенной влаги от 65 до 180 мм способствовало повышению урожайности яровой пшеницы на 2,6 т/га (с колебаниями от 0,7 до 3,3 т/га). В закрытой лесостепи растения в меньшей степени реагировали на пониженное увлажнение. По данным Солянской СХОС, при влагозапасах от 70 до 90 мм урожайность яровой пшеницы по кукурузе была не ниже 1,7 т/га. При обильном увлажнении почвы в 160 мм продуктивность пшеницы в открытой и закрытой лесостепи выравнивалась.

Самые низкие запасы почвенной влаги весной отмечены по обороту пласта. При удовлетворительных влагозапасах (90–130 мм) урожайность пшеницы по обороту пласта увеличивалась от 1,8 до 3,2 т/га, или в 1,8 раза.

Использование ГТК при моделировании продуктивности пшеницы позволило оценить условия летнего увлажнения. Эту работу выполняли по Солянской СХОС – (6), (7). Эффективность чистого пара и кукурузы проявлялась сильнее в засушливые годы. С увеличением ГТК до 1,2 в поле чистого пара и до 1,4 по кукурузе урожайность пшеницы повышалась. Наибольшая урожайность в закрытой лесостепи наблюдалась при ГТК в 1,0 по чистому пару и в 1,2 по кукурузе. Дальнейшее повышение увлажнения, сопровождаемое увеличением ГТК, снижало продуктивность пшеницы. Наиболее значительным это снижение было на полях после чистого пара. Изменение ГТК от 1,2 до 1,4 приводило к уменьшению урожайности

по данному предшественнику на 1,3 т/га. Это заключение сделано по расчетным значениям урожайности 7-й модели. Резкое снижение урожайности объясняется повышенным содержанием азота в почве после парового предшественника и ее высокой влажностью. Сочетание этих двух факторов приводило к интенсивному нарастанию вегетативной массы, полеганию растений, а иногда и к вспышке грибных заболеваний, что снижало продуктивность культуры.

Для решения вопросов адаптивно-ландшафтного земледелия важно знать, как меняется продуктивность сельскохозяйственных культур на почвах, сформировавшихся на разных элементах мезорельефа. Применительно к Красноярскому краю наилучшие условия для возделывания зерновых культур складывались на плато, южных и восточных склонах, а в засушливых условиях – и в ложбинах [4]. Возделывание яровой пшеницы на северных и западных склонах, а при влажных условиях и в ложбинах приводило к снижению продуктивности культуры на 15–21 %. При засушливых условиях влияние мезорельефа на продуктивность зерновых культур проявлялось сильнее, чем при избытке влаги. Известно также, что на затветренных склонах восточной экспозиции складываются более благоприятные условия для возделывания зерновых культур, чем на аналогичных ветроударных склонах западной экспозиции [9]. В среднем за 3 года урожайность пшеницы на почве западного склона была на 21 % ниже, а на почве восточного склона – на 13 % выше, чем на почве плато. Рельеф также влиял на технологические и посевные качества зерна пшеницы [2]. При влажных погодных условиях на почве разных элементов мезорельефа формировалось зерно, отличающееся по содержанию клейковины на один класс качества. Наиболее качественное зерно образуется на почве склона южной экспозиции. В условиях склонов северной экспозиции получают семена с пониженной на 19–23 % всхожестью.

На основании полученных данных при оценке почвенно-земельных ресурсов разработаны поправочные коэффициенты к ценности почв в условиях выраженного (4–6°) мезорельефа [4]: западный и северо-западный склоны – 0,80; северный склон – 0,90; плато, ложбина, северо-восточный склон – 1,00; южный склон – 1,05; юго-восточный склон – 1,10; восточный склон 1,15. Полагаем, что для более полной оценки агроландшафтов можно использовать данные коэффициенты и дополнить ими представленные модели.

Полученные экспериментальным путем коэффициенты позволяют полнее учитывать продуктивность земель в зависимости от их местоположения в мезорельефе. В земледельческой части Красноярского края данные коэффициенты можно использовать на 24,4 % пашни (756 тыс. га), на землях со склонами крутизной 5–7° (307 тыс. га) и 3–5° (449 тыс. га). Адаптивно-ландшафтные системы земледелия на этих землях должны быть внедрены в первую очередь. При разработке таких систем необходимо также учитывать степень эрозионной опасности склонов: прямых – 1,00; выпуклых – 1,25–1,50; вогнутых – 0,50–0,75 [10].

Повышение эффективности земледелия возможно за счет рационального использования равнинных и склоновых элементов рельефа. При этом на платообразных участках необходимо применять высокий уровень интенсификации, на склоновых элементах рельефа – средний и компенсацион-

ный уровень агротехнологий. Эффективность использования минеральных удобрений также меняется в зависимости от экспозиции склонов. Отзывчивость растений на минеральные удобрения, как правило, выше на северных склонах в связи с более высокой их влагообеспеченностью. Такой подход в адаптивно-ландшафтных системах земледелия обеспечивает экономию затрат труда на единицу продукции и получения более высокой прибыли. Целесообразен перевод разных по крутизне и степени деградации равнинных и склоновых земель в природно-антропогенные объекты – сенокосы, пастбища, лесные массивы. Это скажется на продуктивности земель, используемых в качестве кормовых угодий.

ВЫВОДЫ

1. Согласно выполненным модельным исследованиям самая высокая продуктивность яровой пшеницы достигается в условиях закрытой лесостепи и подтаежной подзоне. Получение здесь стабильных по годам урожаев наиболее вероятно. В условиях открытой и типичной лесостепи продуктивность яровой пшеницы снижается, а также падает устойчивость ее производства по годам.

2. При разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия необходимо учитывать как зональные условия, так и особенности мезорельефа. Более благоприятные условия для возделывания яровой пшеницы складываются на плато, южных и восточных склонах, а при засушливых условиях – и в ложбинах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власенко А.Н., Шоба Б.Н., Ким С.А., Каличкин А.В. Совершенствование технологий возделывания яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2015. – № 5. – С. 5–11.
2. Шпедт А.А. Природно-хозяйственная оценка почвенного покрова сельскохозяйственных земель Приенисейской Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Красноярск, 2009. – 32 с.
3. Система земледелия Красноярского края. – Новосибирск: РПО СО ВАСХНИЛ, 1982. – 631 с.
4. Шпедт А.А., Пурлаур В.К. Оценка влияния рельефа на плодородие почв и урожайность зерновых культур // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2008. – № 10. – С. 5–11.
5. Зубаилова Г.И. Агрометеорологические показатели формирования урожая яровой пшеницы в лесостепной зоне Красноярского края: дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1982. – 140 с.
6. Крупкин П.И., Топтыгин В.Н., Анциферов С.И. Опыт межхозяйственной бонитировки края // Почвы и повышение их производительной способности: сб. науч. тр. – Новосибирск. – 1993. – С. 172–178.
7. Цугленок Н.В. и др. Агропромышленный комплекс Красноярского края: проблемы и приоритетные направления развития. – Красноярск: Изд-во Красноярского ГАУ, 2009. – 292 с.
8. Цугленок Н.В. и др. Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственных продуктов, сырья и продовольствия на территории Красноярского края на 2009–2011 годы и на период до 2017 года. – Красноярск: Изд-во Красноярского ГАУ, 2009. – 240 с.
9. Лисунов В.В., Едимичев Ю.Ф. Эффективность основных обработок почвы в севообороте на склонах открытой лесостепи // Агротехника сельскохозяйственных культур в Восточной Сибири. – Новосибирск, 1989. – С. 24–36.
10. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 367 с.

Поступила в редакцию 04.04.2016

**YU.F. EDIMEYICHEV, Doctor of Science in Agriculture, Professor,
A.A. SHPEDT*, Doctor of Science in Agriculture, Professor**

Krasnoyarsk State Agrarian University

90, Mira Av, Krasnoyarsk, 660049 Russia,

e-mail: EUF-1948@yandex.ru

**Siberian Federal University*

79, Svobodny Av, Krasnoyarsk, 660041 Russia

e-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru

MODELING SPRING WHEAT PRODUCTIVITY IN AGROLANDSCAPES OF KRASNOYARSK TERRITORY

In the crop-producing areas of Krasnoyarsk Territory were carried out long-term investigations on modeling spring wheat productivity in different natural subzones taking into account forecrops, moisture availability and hydrothermic coefficients. Modeling productivity of spring wheat was carried out based on the data obtained in 1972–1996 in the agrolandscapes of open, closed and true forest steppes varying in the forestation level, and in the subtaiga zone. Spring wheat was cultivated after bare fallow, wheat, maize, and after perennial grasses moldboard and nonmoldboard plowed. There were obtained the models of spring wheat productivities showing soil-climatic features of the subzones and adjustment factors to them, which corrected productivity of the crop under conditions of expressed (4–6°) mesorelief. The long-term averaged productivity of spring wheat varied as much as 19 times and more, depending on a subzone and a forecrop. The best forecrop for spring wheat was bare fallow. The most favorable conditions for spring wheat cultivation are established to be in closed forest steppe and subtaiga subzone, on plateaus, and southern and eastern slopes. Here, obtaining stable yields across years is most probably. In open and true forest steppes, productivity of the crop decreased. Here, too, the productivity variation factor dramatically increased that indicated reduced probability of stable yields and resistance of the crop to unfavorable conditions. In the subtaiga agrolandscapes, spring wheat productivity was also significantly lower as compared with that in closed forest steppe agrolandscapes, but productivity variation factors changed insufficiently. Under conditions of subtaiga, the crop provided stable yields owing to better moisture availability. The regularities found contribute to the theoretical base for evaluating regional agro-ecological conditions and developing adaptive-to-landscape cropping systems.

Keywords: agrolandscape, spring wheat, productivity, mathematical productivity models, mesorelief.

УДК 631.582

**Р.Ф. ГАЛЕЕВ, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий сектором,
О.Н. ШАШКОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник**

Сибирский научно-исследовательский институт кормов

630501, Новосибирская область, пос. Краснообск

e-mail: onklin@mail.ru

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И ФАКТОРОВ БИОЛОГИЗАЦИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРМОВОГО СЕВООБОРОТА В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Представлены результаты исследований по влиянию минеральных удобрений и подсева бобового компонента к злаковым культурам на продуктивность шестипольного кормового севооборота на выщелоченных черноземах Западной Сибири. Установлено, что минераль-